

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení

Fluidní svaly – Vlastnosti, Návrh, Využití

Fluidic Muscle – Properties, Design, Utilization

Student:

Michal Příhoda

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Miloslav Žáček

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Michal Příhoda**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2302R007 Hydraulické a pneumatické stroje a zařízení
Téma: **Fluidní svaly - vlastnosti, návrh, využití**
Fluidic Muscle - Properties, Design, Utilization

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte přehled druhů a vlastností fluidních svalů
2. Vypracujte návrhy velikosti fluidního svalů různými způsoby s ohledem na možné různé požadavky uživatele
3. Uveďte možné způsoby využití fluidních svalů v praxi
4. Proveďte experiment s fluidním svalem DMSP-10-120N AM-CM s cílem ověřit parametry uváděné v podkladech výrobce

Seznam doporučené odborné literatury:

DINDORF, R. Chwyty z muskulami pneumatycznymi. *Pneumatyka*, 2005, no. 6, s. 16-19. ISSN 1426-6644.

FESTO AG & Co. Esslingen: *Neu. Fluidic Muscle MAS*. Info 501. 22 s.

FESTO Czech Republic. *Fluidní sval*. dostupné z <www.festo.com/cms/cs_cz/11186.htm>

KOPEČNÝ, L. *McKibbenův pneumatický sval - modelování a použití v hmatovém rozhraní*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 114 s.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Miloslav Žáček**


Konzultant bakalářské práce: Ing. Lukáš Dvořák, Ph.D.

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. RNDr. Milada Kozubková, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Mistopřisečné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě: 24.5.2012



podpis

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užit (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 24.5.2012

Příhoda.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Příhoda

Adresa trvalého pobytu autora práce:

U Hřbitova 333, Stonařov 588 33

Anotace bakalářské práce

PŘÍHODA, M. Fluidní svaly – vlastnosti, návrh, využití: bakalářská práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra hydromechaniky a hydraulických zařízení, 2012, 40 s. Vedoucí práce: Ing. Miloslav Žáček

Bakalářská práce se zabývá fluidními svaly. Zejména jejich vlastnostmi, návrhem vhodné velikosti a využitím fluidních svalů v praktických úlohách. Zabývá se měřením fluidního svalu DMSP-10-120N-AM-CM firmy FESTO. Porovnává výsledky měření s hodnotami, které uvádí výrobce. Práce může sloužit jako pomůcka při měření fluidních svalů.

Annotation of bachelor thesis

Prihoda, M. Fluidic muscles – properties, design, characteristics, design, utilization: bachelor thesis. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of hydromechanics and hydraulic equipment, 2012, 40 p. Leader: Ing. Miloslav Žáček

Bachelor thesis deals with the fluidic muscles. In particular, their properties, design of appropriate size and fluid using the muscles in the practical tasks. It deals with the measurement of fluidic muscle DMSP-10-120N-AM-CM FESTO. Compares measurement results with the values indicated by the manufacturer. Work can serve as a means for measurement of fluidic muscles.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Miloslavu Žáčkovi a panu Ing. Lukáši Dvořákovi, Ph.D. za podporu a odbornou pomoc při tvorbě této bakalářské práce.

Obsah

SEZNAM POUŽITÝCH ZNAČEK, VELIČIN A JEDNOTEK.....	8
1. ÚVOD	9
1.1 CÍL PRÁCE.....	9
2. HISTORIE A POPIS FUNKCE PNEUMATICKÝCH SVALŮ	10
3. TYPY FLUIDNÍCH SVALŮ VYRÁBĚNÉ FIRMOU FESTO	11
3.1 DMSP – FLUIDNÍ SVAL S NALISOVANÝMI SPOJI.....	11
3.2 MAS – FLUIDNÍ SVAL SE ŠROUBOVANÝMI SPOJI.....	17
4. NÁVRH VELIKOSTI FLUIDNÍHO SVALU PODLE JEHO FUNKCE.....	25
4.1 FLUIDNÍ SVAL JAKO JEDNOČINNÝ POHON.....	25
4.2 FLUIDNÍ SVAL JAKO PNEUMATICKÁ PRUŽINA.....	28
4.3 NÁVRH S OHLEDEM NA ŽIVOTNOST.....	31
5. PŘÍKLADY POUŽITÍ FLUIDNÍCH SVALŮ FESTO	31
5.1 SÍLA A DYNAMIKA	31
5.2 POHYBY BEZ EFEKTU STICK-SLIP	33
5.3 JEDNODUCHÉ POLOHOVACÍ SYSTÉMY	34
5.4 PROVOZ V NÁROČNÉM PROSTŘEDÍ.....	35
5.5 POUŽITÍ PNEUMATICKÝCH SVALŮ PRO RŮZNÉ KONSTRUKCE CHAPADEL.....	36
5.6 VYUŽITÍ FLUIDNÍCH SVALŮ KONKRÉTNÍMI FIRMAMI.....	37
6. MĚŘENÍ FLUIDNÍHO SVALU DMSP-10-120N-AM-CM.....	39
6.1 CÍL MĚŘENÍ.....	39
6.2 SCHÉMA ZAPOJENÍ	39
6.3 POPIS PRVKŮ.....	40
6.4 POSTUP MĚŘENÍ.....	40
6.5 NAMĚŘENÉ HODNOTY.....	41
6.6 GRAFY:.....	42
6.7 ZÁVĚR MĚŘENÍ:	45
7. ZÁVĚR	46
LITERATURA.....	47

Seznam použitých značek, veličin a jednotek

Značka	Název značky	Rozměr
\varnothing	průměr svalu	mm
ΔH	zdvih svalu	% H
F	síla svalu	N
F_E	požadovaná síla v expandovaném stavu	N
F_K	požadovaná síla v klidové poloze	N
F_Z	požadovaná síla ve staženém stavu	N
H	zdvih svalu	mm
L	jmenovitá délka svalu	mm
m	hmotnost volně zavěšené zátěže	kg
p	provozní tlak	bar

1. Úvod

Práce se zabývá hlavně fluidními svaly, což je vynález firmy FESTO. Svaly firmy FESTO jsou v současnosti nejpoužívanější. Tyto svaly se vyrábí ve dvou variantách. DMSP – fluidní sval s nalisovanými spoji a MAS – fluidní sval se šroubovanými spoji. V práci se nachází jejich technické parametry, diagramy pracovního rozsahu a další informace užitečné při návrhu fluidního svalu různými způsoby s ohledem na možné různé požadavky uživatele. Jsou zde uvedeny možné praktické způsoby využití fluidních svalů v různých manipulačních aplikacích. Součástí práce je také experimentální měření, jehož úkolem bylo změřit pracovní diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu DMSP-10-120N-AM-CM. Následně se v ní nachází i porovnání změřených hodnot s diagramem, který ve svém katalogu uvádí výrobce.

1.1 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je zpracovat přehled druhů a vlastností fluidních svalů. Vypracovat návrh velikosti fluidního svalu. Popis různých využití fluidních svalů v praxi. Návrh vhodného experimentu v souladu s prvkovým vybavením laboratoře. Změřit diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu DMSP-10-120N-AM-CM a výsledky měření porovnat s parametry uvedenými v podkladech výrobce.

2. Historie a popis funkce pneumatických svalů

První pneumatický sval sestrojil fyzik S. Garasiev už v roce 1930. Jeho sval sloužil jako pohon pro bioprotézy. Pracoval na principu přeměny tlakové síly plynu, která rozpíná elastickou trubici, na kontrakci svalu. Na stejném principu pracují i moderní pneumatické svaly. Jeho vlákna byla vedena rovnoběžně s osou svalu a spojují oba jeho konce.

Další rozvoj nastal, když v 50. letech vyvinul novou konstrukci pneumatického svalu Joseph L. McKibben. Od předchozí uvedené konstrukce Garasievova typu se liší způsobem opletení vnitřní elastické trubice. Překřížená vlákna vytváří kosočtvercovou síť. Síť má po přivedení tlaku tendenci rozšířit se v radiálním směru a kontrahovat se v axiálním směru. To znamená, že se zvětšuje průměr svalu a zkracuje se jeho délka.

Byla vyvinuta řada dalších konstrukcí pneumatických svalů, např.: Baldwinův sval, Kukoljův sval, Morinův sval, ROMAC, Wasedův sval a Yarlotův sval. Ale historie zaznamenala pouze dva pokusy o sériovou výrobu pneumatických svalů. První uvedla na trh firma Bridgestone. V osmdesátých letech přišla s výrobkem „Rubbernator“. Jako druhá uvedla svůj výrobek firma FESTO, významný výrobce hydraulických komponent. Její fluidní sval je pneumatický sval McKibbenova typu. Liší se od něj tím, že dvojité spirálové opletení svalu je integrováno do gumové vrstvy stěny svalu. Díky tomu dosahuje vyšší robustnosti a spolehlivosti, což je nezbytné pro nasazení do průmyslového provozu. Nevýhodou konstrukce je, že se podstatně zhorší ostatní parametry svalu. Fluidní svaly firmy FESTO budou více rozebrány v následujících kapitolách[5], [7], [9].

3. Typy fluidních svalů vyráběné firmou FESTO

3.1 DMSP – Fluidní sval s nalisovanými spoji

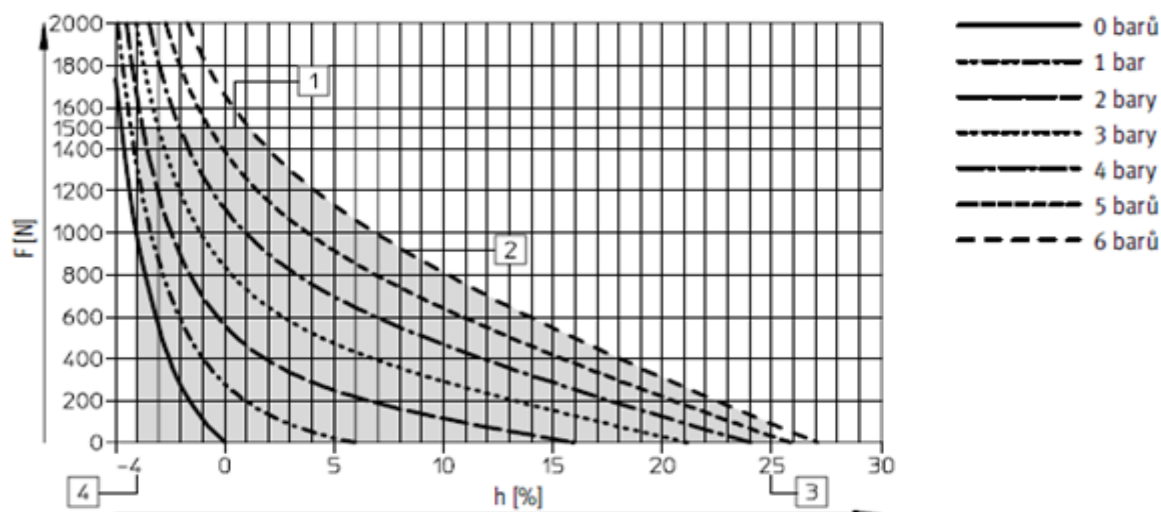


Obr. 1: Fluidní sval firmy FESTO – DMSP[13]

Fluidní sval DMSP s nalisovaným připojením je výsledek důsledné analýzy požadavků, které jsou na fluidní svaly kladeny[2]. Takto vzniklý nově vyvinutý výrobek je proto podstatně lehčí, kompaktnější a trvanlivější. Hustší konstrukce s více svaly, která se dosahuje o 25% kompaktnějším průřezem. Oproti konstrukci svalu se šroubovanými spoji MAS má až o 30% nižší hmotnost, což se projevuje vynikajícím poměrem síly k hmotnosti. U svalu DMSP je možnost volit mezi třemi integrovanými variantami adaptéru (AM – axiální přívod, RM – radiální přívod, CM – žádný přívod), které budou blíže specifikovány v kapitolách 3.1.8, 3.1.9, 3.1.10.

3.1.1 Pracovní rozsah a diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu DMSP-20-200N-...

Hranice pro „volně zavěšené“ zátěže se vytvoří pomocí zavěšení při tlaku 0 bar. U fluidního svalu DMSP-20-... vede volně zavěšená zátěž $m = 80 \text{ kg}$ k natažení o 4% (viz obr. 2). Při použití svalu je nutné se držet uvedených technických údajů. V níže uvedených diagramech jsou v závislosti na průměru uvedeny oblasti použití fluidního svalu v rámci následujících mezních linií:

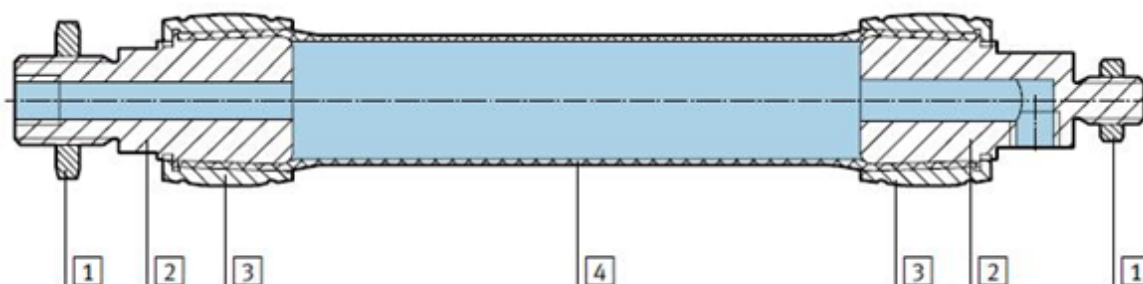


- 1 – minimální teoretická síla při maximálním provozním tlaku
- 2 – maximální provozní tlak
- 3 – maximální deformace
- 4 – maximální natažení

Obr. 2: Diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu DMSP-20-200N-...[2]

Diagram byl vytvořen podle svalu s normalizovanou délkou (normalizovaná délka = 10 x vnitřní \varnothing , v tomto případě je délka svalu 200 mm), a proto je vhodné návrh provádět s výpočtním softwarem firmy FESTO MuscleSIM 2.0.1.5, který bude v bakalářské práci popsán v kapitole 4. Hrubý návrh lze také provádět pomocí diagramu Síla(F)-Zdvih(H). Vlastnosti, které ovlivňují závislost síly a dráhy, jako třeba vlastnosti materiálu, odchylky výroby a jmenovitá délka, nejsou v tomto diagramu brány v úvahu.

3.1.2 Funkční řez



- 1 – matice (materiál: pozinkovaná ocel);
- 2 – příruba (materiál: tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)
- 3 – dutinka (materiál: tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)
- 4 – membrána (materiál: chloroprén, aramid)

Obr. 3: Funkční řez fluidního svalu DMSP[2]

3.1.3 Typové značení fluidních svalů DMSP

		DMSP	-	10	-	500N	-	RM	-	CM
funkce pohonu										
jednočinný tažný pohon										
DMSP	fluidní sval									
vnitřní průměr [mm]										
jmenovitá délka [mm]										
...N	40 až 9000									
první přívod										
RM	radiální									
AM	axiální									
druhý přívod										
RM	radiální									
AM	axiální									
CM	žádný									

3.1.4 Obecné technické údaje fluidních svalů DMSP

Fluidní svaly DMSP se vyrábí v různých velikostech. Mají vnitřní $\varnothing = (10 \text{ až } 40 \text{ mm})$, na zakázku je možné vyrobit i sval o $\varnothing = 5 \text{ mm}$. Dosahují jmenovité délky $L = (40 \text{ až } 9000 \text{ mm})$. Jsou schopny vyvinout posuvovou sílu $F = 6000\text{N}$ [2].

Velikost Fluidního svalu		10	20	40
Připojení pneumatiky		G ¹ / ₈	G ¹ / ₄	G ³ / ₈
Konstrukce		kontrakční membrána		
Způsob činnosti		jednočinný tažný pohon		
Vnitřní průměr [mm]		10	20	40
Jmenovitá délka [mm]		40 až 9000	60 až 9000	120 až 9000
Max.(volně zavěšená) zátěž [kg]		30	80	250
Max.připustné natažení ¹⁾	bez omezení síly	3% jmenovité délky	4% jmenovité délky	5% jmenovité délky
	s omezením síly	3% jmenovité délky	3% jmenovité délky	3% jmenovité délky
Maximální přípustná kontrakce		25% jmenovité délky		
Maximální hystereze		≤ 3% jmenovité délky	≤ 2,5% jmenovité délky	
Maximální dopružování		≤ 4% jmenovité délky		≤ 3% jmenovité délky
Opakovatelná přesnost		≤ 1% jmenovité délky		
Způsob upevnění		příslušenstvím		
Montážní poloha		libovolná (v případě vzniku příčných sil je nutné použít externí vedení)		

1) Maximální přípustné natažení dosáhneme zavěšením maximální (volně zavěšené) zátěže.

Tab. 1: Obecné technické údaje fluidních svalů DMSP

3.1.5 Provozní a okolní podmínky

Velikost Fluidního svalu	10	20	40
Provozní tlak [bar]	0 až 8	0 až 6	
Provozní médium	filtrovaný stlačený vzduch, mazaný nebo nemazaný (jiná média lze vyžádat)		
Teplota okolí [°C]	-5 až 60°C		
Odolnost korozi KBK ²⁾	2		

2) Třída odolnosti korozi 2 dle normy FESTO 940 070: Konstrukční díly s mírnějšími nároky na odolnost korozi. Vnější viditelné části s požadavky především na vzhled povrchu, který je vystaven přímému kontaktu s okolní pro průmysl běžnou atmosférou, respektive látkami, jako jsou chladicí látky a maziva.

Tab. 2: Provozní a okolní podmínky

3.1.6 Síly při maximálním přípustném provozním tlaku

Velikost Fluidního svalu	10	20	40
Teoretická síla [N]	630	1500	6000
Omezení síly [N]	400	1200	4000

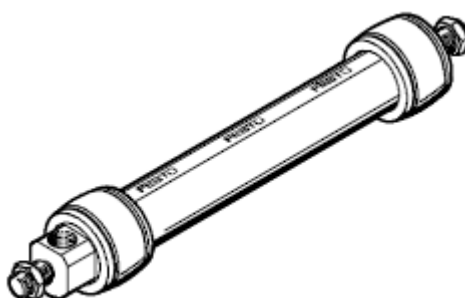
Tab. 3: Síly při maximálním přípustném tlaku

3.1.7 Hmotnosti různých kombinací přívodů

Velikost Fluidního svalu		10	20	40
Základní hmotnost[g] při délce 0 m	kombinace přívodů			
	RM-CM	58	169	675
	RM-RM	66	182	707
	RM-AM	75	202	767
	AM-CM	66	189	735
	AM-AM	83	222	827
Přírůstek hmotnosti[g] na délku 1 m		94	178	340

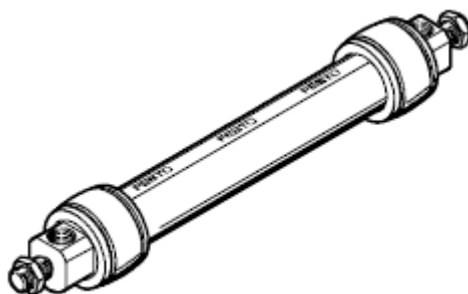
Tab. 4: Hmotnosti různých kombinací přívodů

3.1.8 Varianty provedení přívodů

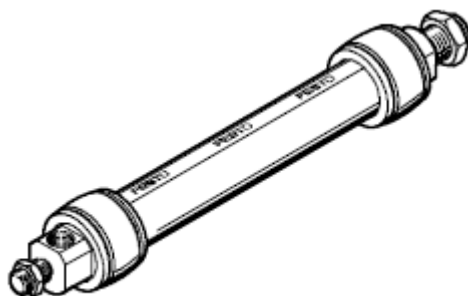


Obr. 4: RM-CM – Fluidní sval s radiálním přívodem z jedné strany[2]

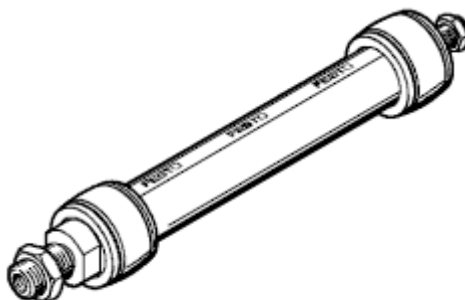
3.1.8 Varianty provedení přívodů



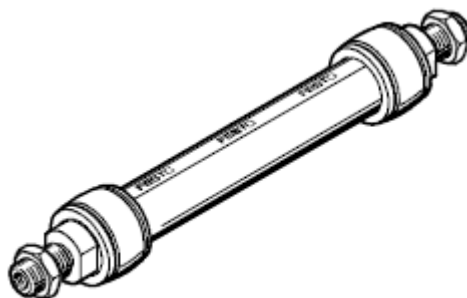
Obr. 5: RM-RM – Fluidní sval s radiálními přívody z obou stran[2]



Obr. 6: RM-AM – Fluidní sval s axiálním a radiálním přívodem[2]



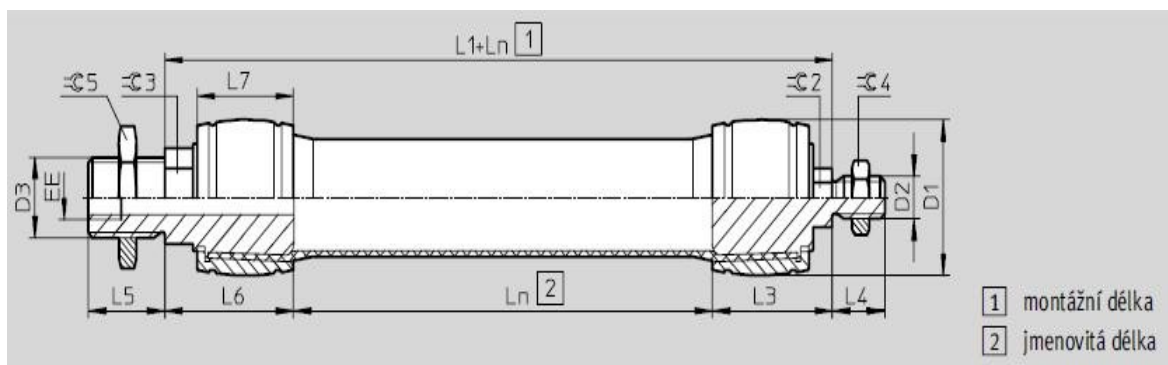
Obr. 7: AM-CM – Fluidní sval s axiálním přívodem z jedné strany[2]



Obr. 8: AM-AM – Fluidní sval s axiálními přívody z obou stran[2]

3.1.9 Rozměry fluidního svalu DMSP-xx-xxN-AM-CM

Na tom to místě uvedu příklad rozměrů fluidního svalu s axiálním přívodem z jedné strany – AM-CM. Uvedený sval byl k dispozici pro experimentální měření.



Obr. 9: Rozměry fluidního svalu DMSP-xx-xxN-AM-CM[2]

Velikost Fluidního svalu	D1 max.	D2	D3	EE	Ln ¹⁾		L1		L3
					min.	max.	AM-CM	AM-AM	
10	22	M8	M16x1,5	G ¹ / ₈	40	9000	53	54	26
20	35	M10x1,25	M20x1,5	G ¹ / ₄	60		79	81	38,5
40	57	M16x1,5	M30x1,5	G ³ / ₈	120		114	118	55
Velikost Fluidního svalu	L4	L5	L6	L7	⌀1 ²⁾	⌀2 ²⁾	⌀3 ²⁾	⌀4	⌀5
10	15	16	27	19	10	17	17	13	24
20	20	18	40,5	30	12	19	20	17	30
40	24	35	59	44	19	30	30	24	46

1) Tolerance < 100 mm ± 1 mm, 100 až 400 mm ± 1 %, > 400 mm ± 4 mm

2) Při paralelním vyrovnaní ploch pro klíč na levé a pravé připojovací straně může ve výrobě docházet k odchylkám

Tab. 5: Rozměry fluidního svalu DMSP-xx-xxN-AM-CM

3.2 MAS – Fluidní sval se šroubovanými spoji

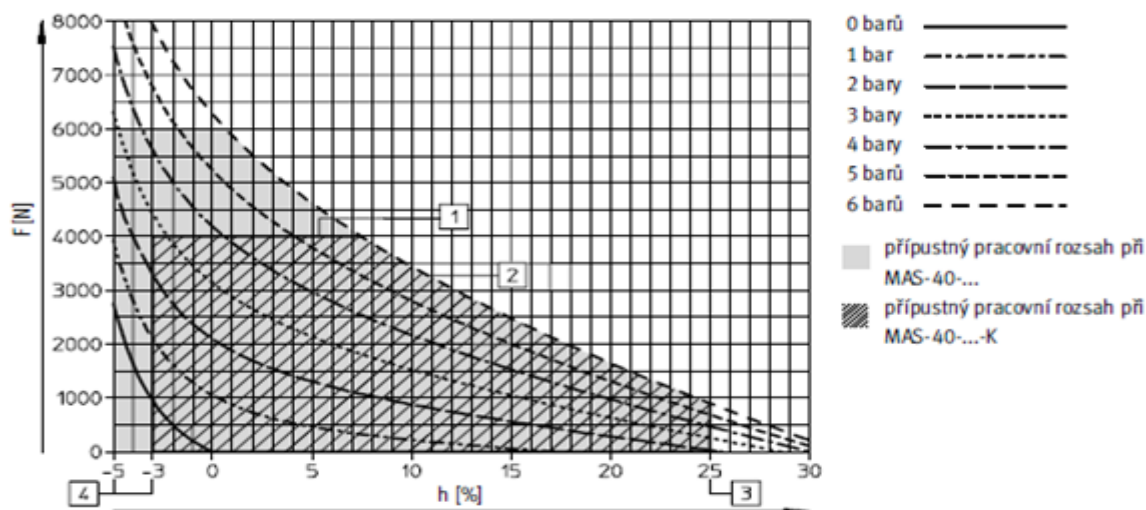


Obr. 10: Fluidní sval firmy FESTO – MAS[12]

Fluidní sval MAS se vyznačuje dlouhou trvanlivostí, která je možná díky optimalizovaným materiálům. Fluidní sval MAS lze volitelně dodat s adaptérem a silovou pojistkou. Použitá pojistka umožňuje omezit sílu zdvihu. Pojistka lze použít např. k ochraně před uskřípnutím. Adaptačních možností je mnoho, dle požadavků zákazníka.

3.2.1 Pracovní rozsah a diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu MAS-40-400N-...

Hranice pro „volně zavěšené“ zátěže se vytvoří pomocí zavěšení[2]. U fluidního svalu MAS-40-... způsobí volně zavěšená zátěž $m = 250$ kg natažení o 5% (viz obr. 11). Při použití svalu je nutné se držet uvedených technických údajů. V níže uvedených diagramech jsou v závislosti na průměru uvedeny oblasti použití fluidního svalu.



1 – omezení síly při MAS-40-...-K

2 – maximální provozní tlak

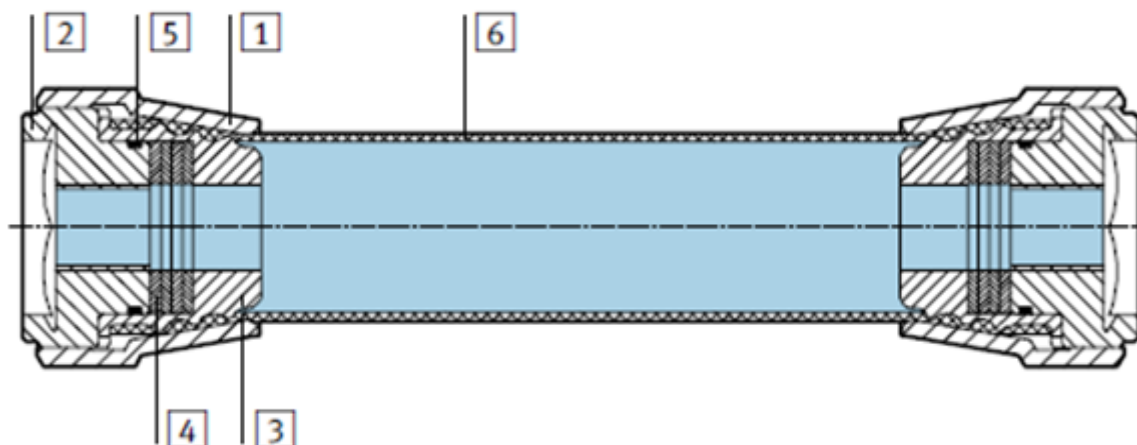
3 – maximální deformace

4 – maximální natažení

Obr. 11: Diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu MAS-40-400N-...[2]

Diagram byl vytvořen podle svalu firmy FESTO[2] s normalizovanou délkou (normalizovaná délka = $10 \times$ vnitřní \varnothing , v tomto případě je délka svalu 400 mm), a proto by se návrh měl provádět s výpočtním softwarem firmy FESTO MuscleSIM 2.0.1.5. Hrubý návrh lze také provádět pomocí diagramu síla-zdvih. Vlastnosti, které mají vliv na závislost síly a dráhy, jako třeba vlastnosti materiálu, odchylky výroby a jmenovitá délka, nejsou v tomto diagramu brány v úvahu.

3.2.2 Funkční řez



- 1 – převlečná matice (materiál: tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)
- 2 – příruba (materiál: tvárný legovaný hliník, modře eloxovaný)
- 3 – vnitřní kužel (materiál: tvárný legovaný hliník, bezbarvý eloxovaný)
- 4 – talířové pružiny (materiál: ocel)
- 5 – těsnicí kroužek (materiál: nitrilkaučuk)
- 6 – membrána (materiál: chloroprén, aramid)

Obr. 12: Funkční řez fluidního svalu MAS[2]

3.2.3 Typové značení fluidních svalů MAS

		MAS	-	10	-	500N	-	AA	-	MC	-	K	-	ER	-	EG
funkce pohonu																
jednočinný tažný pohon																
DMSP	fluidní sval															
vnitřní průměr [mm]																
jmenovitá délka [mm]																
...N	40 až 9000															
materiál																
AA	standardní materiál (chloroprén, aramid)															
typ připojení																
MC	otevřeno z jedné strany															
MO	otevřeno z obou stran															
typ připojení																
K	s omezením síly															
O	bez omezení síly															
příslušenství																
adaptér																
ER	1 adaptér pro radiální přívod vzduchu, jednostranný															
EA	1 adaptér pro axiální přívod vzduchu, jednostranný															
BR	2 adaptéry pro radiální přívod vzduchu, oboustranný															
BA	2 adaptéry pro axiální přívod vzduchu, oboustranný															
RA	1 adaptér pro radiální a 1 adaptér pro axiální přívod vzduchu															
upevnění																
EG	1 závitová tyč pro upevnění, jednostranná															
BG	2 závitové tyče pro upevnění, oboustranné															

3.2.4 Obecné technické údaje fluidního svalu MAS

Fluidní svaly DMSP se vyrábí v různých velikostech[2]. Mají vnitřní $\varnothing = (10 \text{ až } 40 \text{ mm})$, na zakázku je možné vyrobit i sval o $\varnothing = 5 \text{ mm}$. Dosahují jmenovité délky $L = (40 \text{ až } 9000 \text{ mm})$. Jsou schopny vyvinout posuvovou sílu $F = 6000\text{N}$.

Velikost Fluidního svalu		10	20	40
Připojení pneumatiky		adaptér MXAD-R, MXAD-A, MXAD-T		
Konstrukce		kontrakční membrána		
Způsob činnosti		jednočinný tažný pohon		
Vnitřní průměr [mm]		10	20	40
Jmenovitá délka [mm]		40 až 9000	60 až 9000	120 až 9000
Max.(volně zavěšená) zátěž [kg]		30	80	250
Max.připustné natažení ¹⁾	bez omezení síly	3% jmenovité délky	4% jmenovité délky	5% jmenovité délky
	s omezením síly	3% jmenovité délky	3% jmenovité délky	3% jmenovité délky
Maximální přípustná kontrakce		25% jmenovité délky		
Maximální hystereze		$\leq 3\%$ jmenovité délky		$\leq 2,5\%$ jmenovité délky
Maximální dopružování		$\leq 4\%$ jmenovité délky		$\leq 3\%$ jmenovité délky
Opakovatelná přesnost		$\leq 1\%$ jmenovité délky		
Způsob upevnění		příslušenstvím		
Montážní poloha		libovolná (v případě vzniku příčných sil je nutné použít externí vedení)		

1) Maximální přípustné natažení dosáhneme zavěšením maximální (volně zavěšené) zátěže.

Tab. 6: Obecné technické údaje fluidních svalů MAS

3.2.5 Provozní a okolní podmínky

Pro provozní a okolní podmínky platí totožná tabulka, jako pro fluidní svaly DMSP (viz kapitola 3.1.5, Tab. 2).

3.2.6 Síly při maximálním přípustném provozním tlaku

Síly při maximálním přípustném provozním tlaku jsou rovněž shodné se silami fluidních DMSP (viz kapitola 3.1.6, Tab. 3).

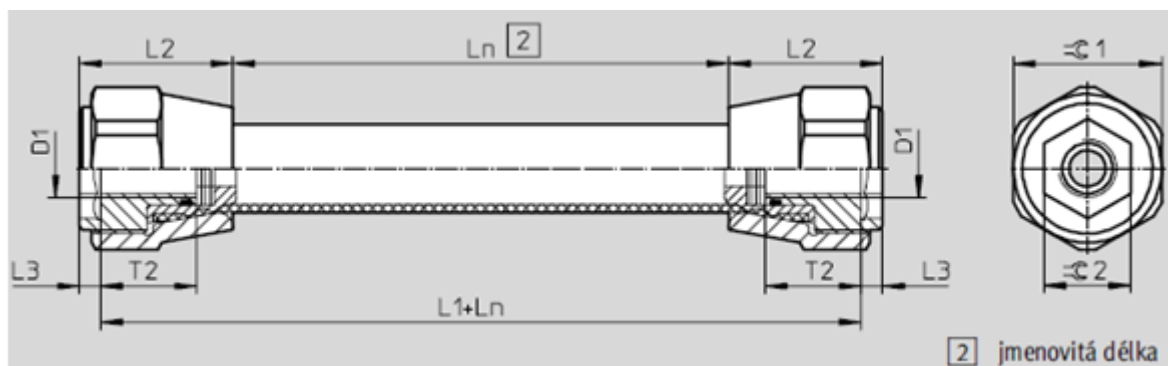
3.2.7 Hmotnosti různých kombinací připojení

velikost Fluidního svalu		10	20	40
základní hmotnost [g] při délce 0 m		77	238	673
přírůstek hmotnosti [g] na délku 1 m		94	178	340
připojení bez omezení síly	MO	38	114	331
	MC	39	124	342
připojení s omezením síly	MO	49	153	521
	MC	49	153	521

Tab. 7: Hmotnosti různých kombinací připojení

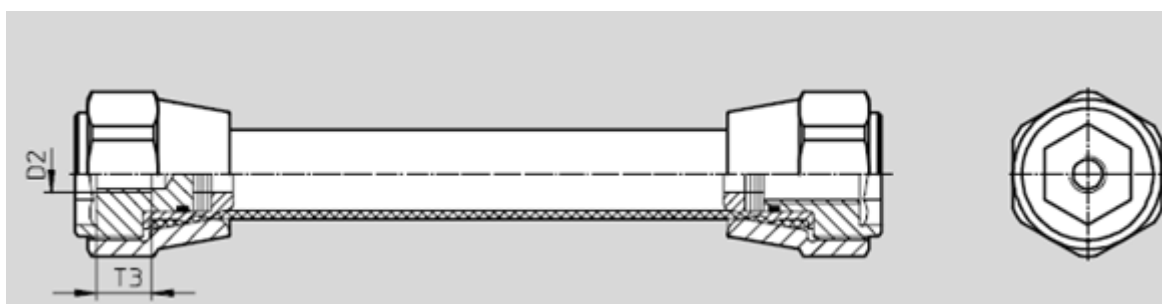
3.2.8 Varianty připojení, upevnění, adaptérů fluidních svalů MAS a jejich rozměry

3.2.8.1 Fluidní sval MAS...-MO-O-... otevřený z obou stran, bez omezení síly



Obr. 13: Fluidní sval MAS...-MO-O-... otevřený z obou stran, bez omezení síly[2]

3.2.8.2 Fluidní sval MAS...-MC-O-... otevřený z jedné strany, bez omezení síly



Obr. 14: Fluidní sval MAS...-MC-O-... otevřený z jedné strany, bez omezení síly[2]

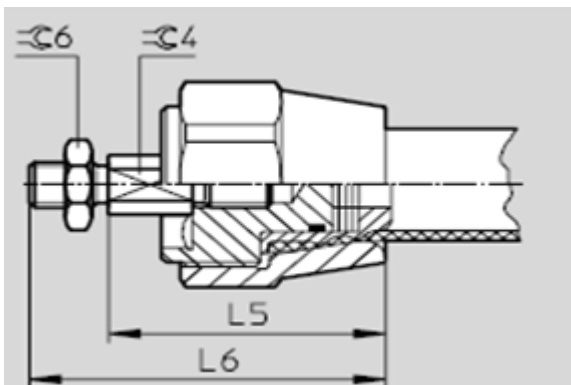
3.2.8.3 Tabulka rozměrů MAS...-MO-O-... a MAS...-MC-O-...

Velikost Fluidního svalu	D1	D2	Ln			L1
			min.		max.	
10	M10x1,25	M10x1,25	40		9000 ¹⁾	60,2
20	M16x1,5	M10x1,25	60			73
40	M20x1,5	M16x1,5	120			95
Velikost Fluidního svalu	L2	L3	T2	T3	⌀1	⌀2
10	34,1	4	10	10	27	17
20	42,5	6	26,5	15	41	24
40	55,5	8	21,8	20	60	41

1) Tolerance < 100 mm \pm 1 mm, 100 až 400 mm \pm 1 %, > 400 mm \pm 4 mm

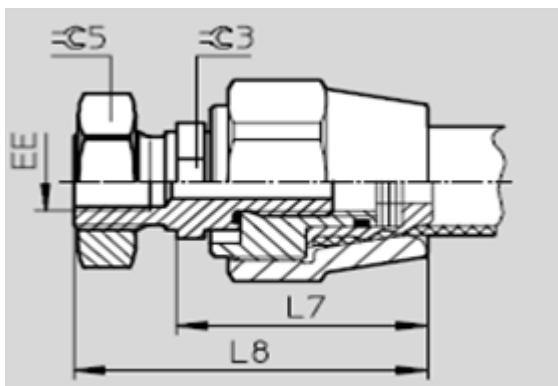
Tab. 8: Tabulka rozměrů MAS, vztahuje se na kapitoly 3.2.8.1 a 3.2.8.2

3.2.8.4 Fluidní sval MAS...-EG otevřený z jedné strany, bez omezení síly, se závitovou tyčí



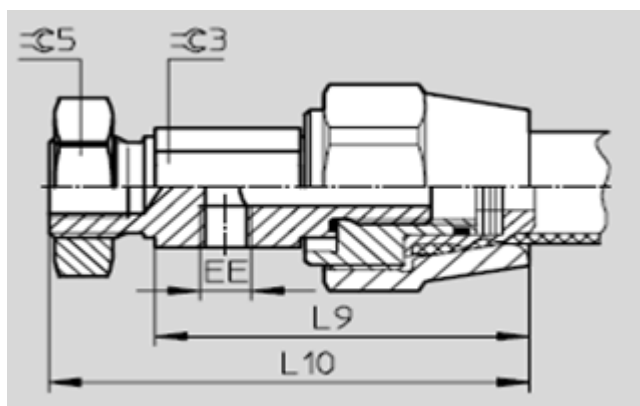
Obr. 15: Fluidní sval MAS...-EG otevřený z jedné strany, se závitovou tyčí[2]

3.2.8.5 Fluidní sval s axiálním přívodem vzduchu, bez omezení síly, MAS...-EA(jednostranný), MAS...-BA(oboustranný)



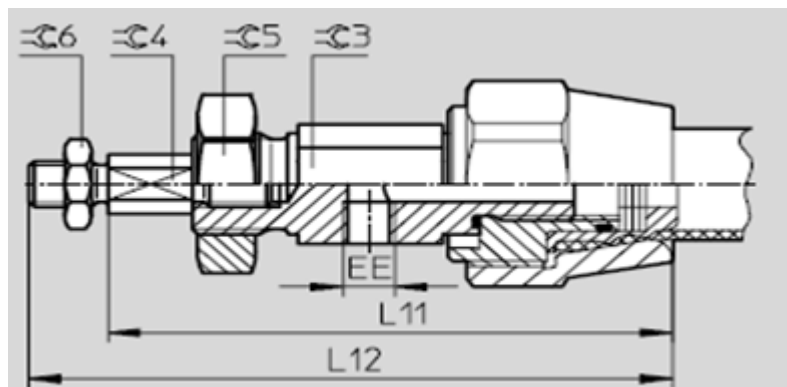
Obr. 16: Fluidní sval s axiálním přívodem vzduchu MAS...-EA(jednostranný), MAS...-BA(oboustranný)[2]

3.2.8.6 Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu, bez omezení síly, MAS...-ER(jednostranný), MAS...-BR(oboustranný)



Obr. 17: Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu MAS...-ER(jednostranný), MAS...-BR(oboustranný) [2]

3.2.8.7 Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu se závitovou tyčí, bez omezení síly MAS...-ER-EG(jednostranný), MAS...-BR-BG(oboustranný)



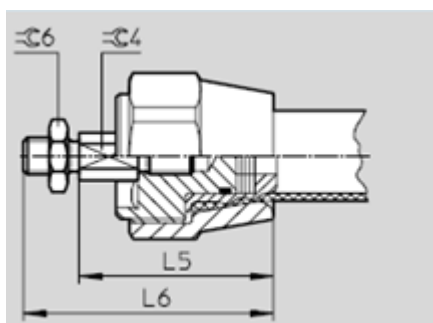
Obr. 18: Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu se závitovou tyčí MAS...-ER-EG(jednostranný), MAS...-BR-BG(oboustranný)[2]

3.2.8.8 Tabulka rozměrů MAS(EG, EA/BA, ER/BR, ER/BR-EG/BG)

Velikost Fluidního svalu	EE		L5	L6	L7	L8	L9
	axiálně	radiálně					
10	G 1/8	M5	46,1	61,1	42,6	60	58,2
20	G 1/4	G 1/8	52,5	67,5	49	69	71
40	G 3/8	G 1/4	67,5	91,5	63	101	93
Velikost Fluidního svalu	L10	L11	L12	G3	G4	G5	G6
10	75,6	96,6	111,6	17	11	24	17
20	91	107	122	24	11	32	17
40	131	151	175	36	17	46	24

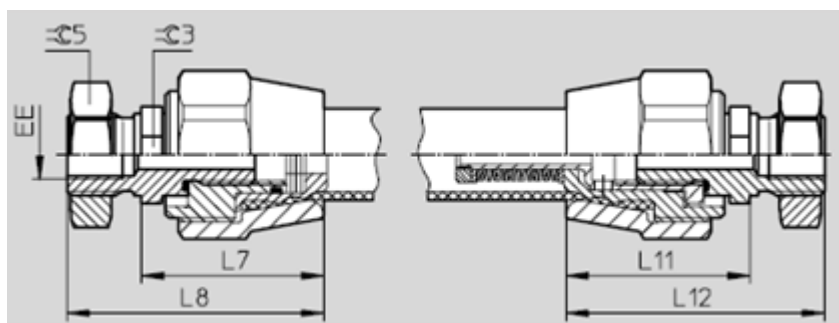
Tab. 9: Tabulka rozměrů MAS, vztahuje se na kapitoly 3.2.8.4 až 3.2.8.7

3.2.8.9 Fluidní sval MAS...-EG otevřený z jedné strany, s omezením síly, se závitovou tyčí



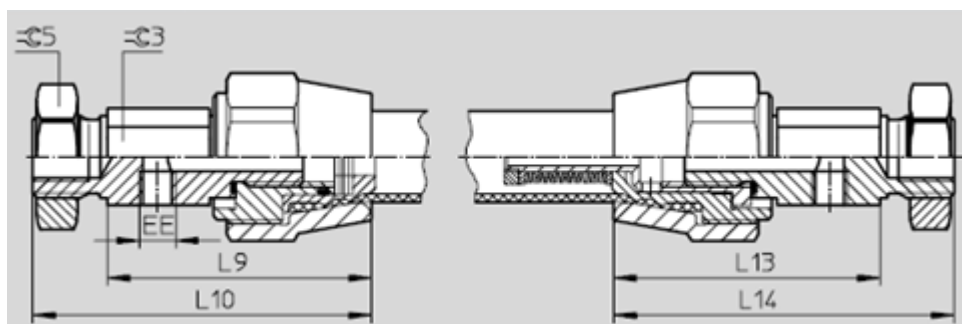
Obr. 19: Fluidní sval MAS...-EG otevřený z jedné strany, se závitovou tyčí[2]

3.2.8.10 Fluidní sval s axiálním přívodem vzduchu, s omezením síly, MAS...-EA(jednostranný), MAS...-BA(oboustranný)



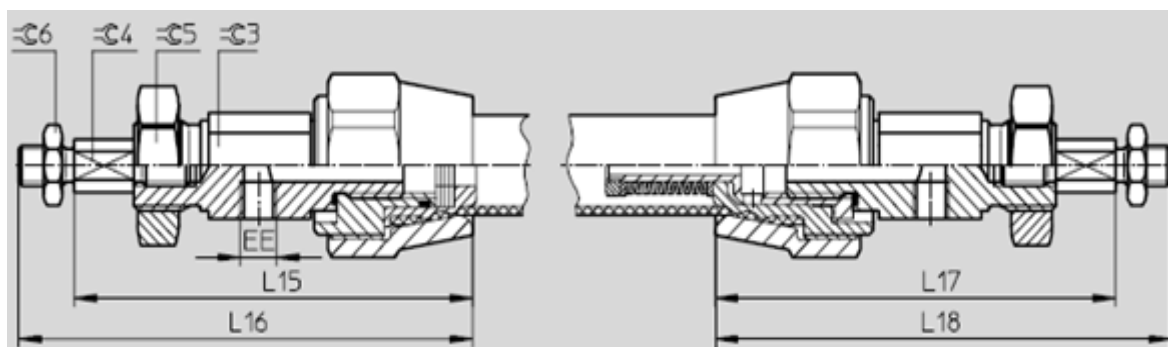
Obr. 20: Fluidní sval s axiálním přívodem vzduchu, s omezením síly, MAS...-EA(jednostranný), MAS...-BA(oboustranný)[2]

3.2.8.11 Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu, s omezením síly, MAS...-ER(jednostranný), MAS...-BR(oboustranný)



Obr. 21: Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu, s omezením síly, MAS...-ER(jednostranný), MAS...-BR(oboustranný)[2]

3.2.8.12 Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu se závitovou tyčí, s omezením síly MAS...-ER-EG(jednostranný), MAS...-BR-BG (oboustranný)



Obr. 22: Fluidní sval s radiálním přívodem vzduchu, a omezením síly, se závitovou tyčí MAS...-ER-EG(jednostranný), MAS...-BR-BG(oboustranný)[2]

3.2.8.13 Tabulka rozměrů MAS(EG, EA/BA, ER/BR, ER/BR-EG/BG)

Velikost Fluidního svalu	EE		L5	L6	L7	L8	L9	L10	L11	L12
	axiálně	radiálně								
10	G $\frac{1}{8}$	M5	46,1	61,1	42,6	60	58,2	75,6	44,1	61,5
20	G $\frac{1}{4}$	G $\frac{1}{8}$	52,5	67,5	49	69	71	91	49,5	69,5
40	G $\frac{3}{8}$	G $\frac{1}{4}$	67,5	91,5	63	101	93	131	64,5	102,5
Velikost Fluidního svalu	L13	L14	L15	L16	L17	L18	≈3	≈4	≈5	≈6
10	59,7	77,1	96,6	111,6	98,1	113,1	17	11	24	17
20	71,5	91,5	107	122	107,5	122,5	24	11	32	17
40	94,5	132,5	151	175	152,5	176,6	36	17	46	24

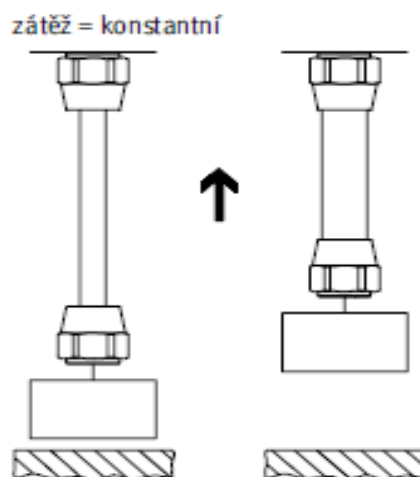
Tab. 10: Tabulka rozměrů MAS, vztahuje se na kapitoly 3.2.8.9 až 3.2.8.12

4. Návrh velikosti fluidního svalu podle jeho funkce

K určení velikosti fluidního svalu bereme v úvahu, v jaké funkci bude sval pracovat. Může fungovat jako jednočinný tažný pohon nebo jako pneumatická pružina. Návrh provádíme, abychom zvolili maximálně užitečný sval a hospodárně ho využili.

4.1 Fluidní sval jako jednočinný pohon

V nejjednodušším případě pracuje fluidní sval jako jednočinný akční prvek s konstantní zátěží (obr. 23). Jestliže je tato zátěž trvale připojena ke svalu, bude se v expandovaném, beztlakovém stavu natahovat ze své klidové polohy. S ohledem na technické vlastnosti svalu je tento druh provozu ideální: Při přivedení tlaku dosahuje takový natahovací sval maximální síly při optimální dynamice a nejnižší spotřebě vzduchu. Rovněž užitečný zdvih je v tomto případě maximální. Jestliže by sval ve svém expandovaném stavu měl být bez síly, například pro připojení nějaké zátěže, je nejprve nutné zajistit sílu pro zvednutí a pro pohyb zátěže zbývá menší část zdvihu[2].



Obr. 23: Zvedání konstantní zátěže – fluidní sval jako jednočinný pohon[2]

4.1.1 Návrh pomocí diagramu Síla-Zdvih

Požadavek zákazníka: Je nutné uchopit konstantní zátěž $m = 15 \text{ kg}$ a ze základní plochy zdvihnout o $H = 40 \text{ mm}$. Provozní tlak $p = 6 \text{ bar}$.

Budeme zjišťovat montážní rozměry (průměr a jmenovitou délku) pneumatického svalu. Při použití svalu je nutné se držet mezních hodnot v technických údajích[2].

1. krok – vypsání rámcových podmínek

požadovaná síla v klidové poloze – $F_K = 0 \text{ N}$

požadovaná síla ve staženém stavu – $F_Z = m \cdot g = 15 \cdot 9,81 = 147,15 \text{ N}$

požadovaný zdvih – $H = 40 \text{ mm}$

provozní tlak – $p = 6 \text{ bar}$

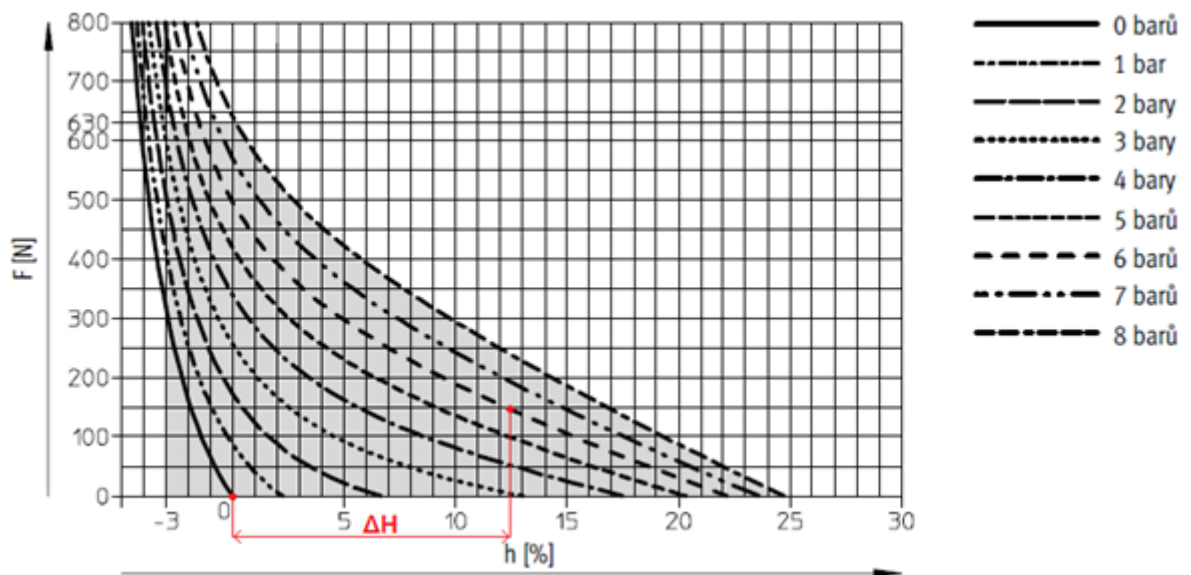
2. krok – určení vhodného průměru svalu v závislosti na potřebné síle

$F_Z = 147,15 \text{ N} \rightarrow$ nejvýhodnější je použít sval o průměru 10 mm – DMSP-10-100N-...

3. krok – zanesení bodů 1 [$F = 0 \text{ N}$, $p = 0 \text{ bar}$] a 2 [$F = 147,15 \text{ N}$, $p = 6 \text{ bar}$] do diagramu

síla(F)-zdvih(H) svalu DMSP-10-100N-... (obr.24) a odečtení kontrakce ΔH mezi body 1 a

2 $\rightarrow 12,5 \%$ zdvihu



Obr. 24: Diagram Síla(F)-Zdvih(H) fluidního svalu DMSP-10-100N-...[2]

4. krok – výpočet jmenovité délky L

jmenovitá délka – $L = H / \Delta H[\%] = 40 / 0,125 = 320 \text{ mm}$

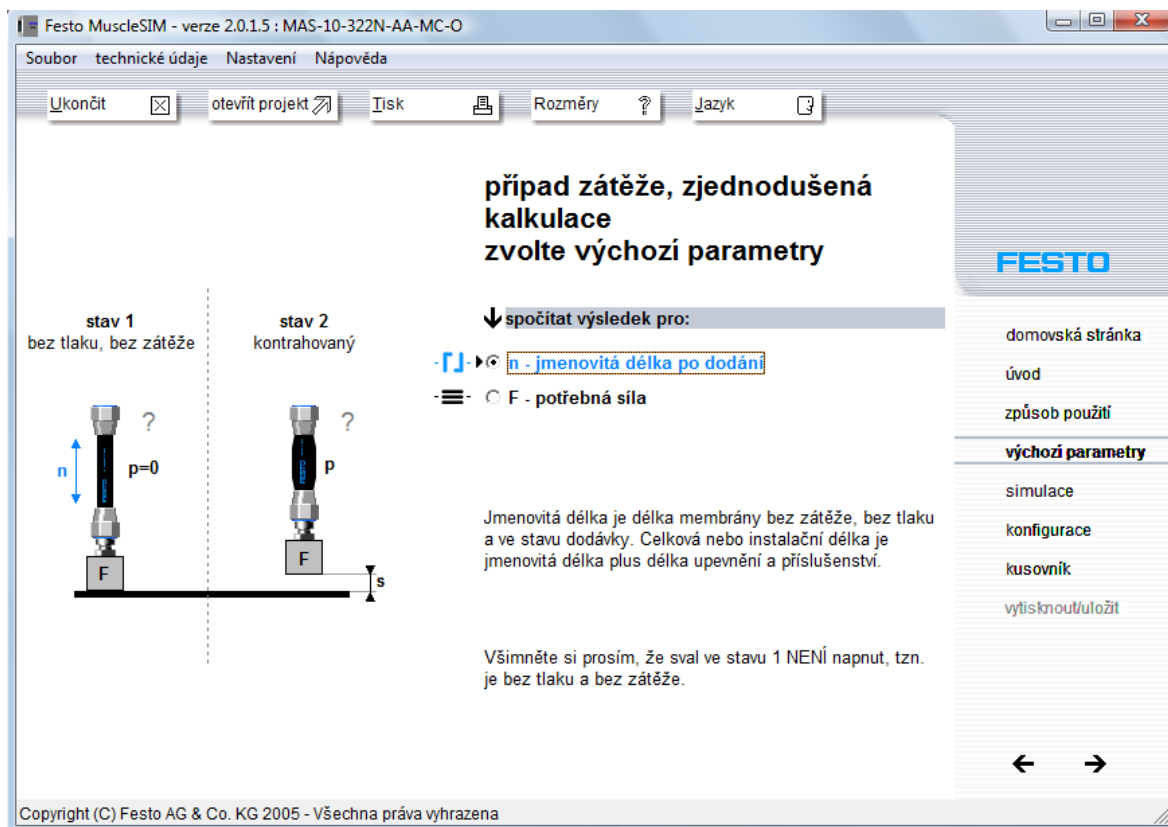
5. krok – objednávka svalu DMSP-10-320N-...

Zvolený sval zvedne zátěž o hmotnosti 15kg do výšky 40mm

4.1.2 Návrh pomocí programu FESTO MuscleSIM 2.0.1.5

Diagramy Síla(F)-Zdvih(H) popisují pouze sval o normalizované délce(normalizovaná délka = $10 \times$ vnitřní \varnothing), proto je vhodnější pro návrh přednostně použít výpočetní software MuscleSIM 2.0.1.5, který je k dispozici na stránkách firmy FESTO. Po nainstalování a spuštění nás postupem provede navigační lišta vpravo (obr. 25).

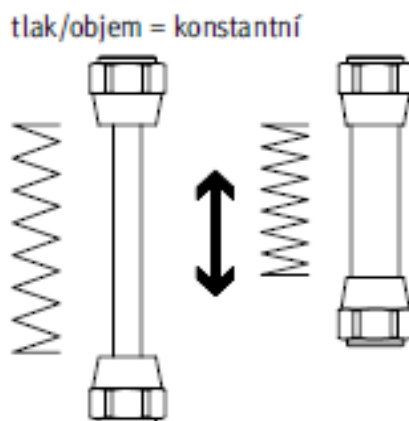
- V Úvodu označíme položku „základní funkce programu“.
- Ve Způsobu použití zvolíme „zjednodušená kalkulace(doporučená)“.
- Ve výchozích parametrech v našem případě označíme „n – jmenovitá délka po dodání“.
- V simulaci zadáme vstupní hodnoty(tlak, síla, zdvih) a zvolíme průměr svalu. Program spočítá jmenovitou délku po dodání (v našem případě 321,9 mm), spotřebu vzduchu a stupeň kontrakce(12%). Dále nás upozorní, pokud je požadavek nestandardní.- V konfiguraci je možné si zvolit typy adaptérů a příslušenství.



Obr. 25: Nastavení výchozích parametrů v programu FESTO MuscleSIM 2.0.1.5

4.2 Fluidní sval jako pneumatická pružina

Při změně vnější síly se sval chová jako pružina: vyrovnává síly. U svalu lze ovlivnit jak předpětí této „pneumatické pružiny“, tak i její tuhost. Sval lze s funkcí pružiny provozovat s konstantním tlakem nebo s konstantním objemem[2]. Jsou k dispozici různé charakteristiky pružení – pružení lze také optimalizovat pro danou úlohu.



Obr. 26: Fluidní sval jako pneumatická pružina[2]

4.2.1 Návrh pomocí diagramu Síla-Zdvih

V tomto příkladu se bude sval používat jako tažná pružina. Budeme zjišťovat montážní rozměr (průměr a jmenovitou délku) pneumatického svalu.

Budeme zjišťovat montážní rozměry (průměr a jmenovitou délku) pneumatického svalu[2].

1. krok – vypsání rámcových podmínek

potřebná síla v expandovaném stavu – $F_E = 2000 \text{ N}$

požadovaná síla ve staženém stavu – $F_Z = 1000 \text{ N}$

délka pružiny (potřebný zdvih) – $H = 50 \text{ mm}$

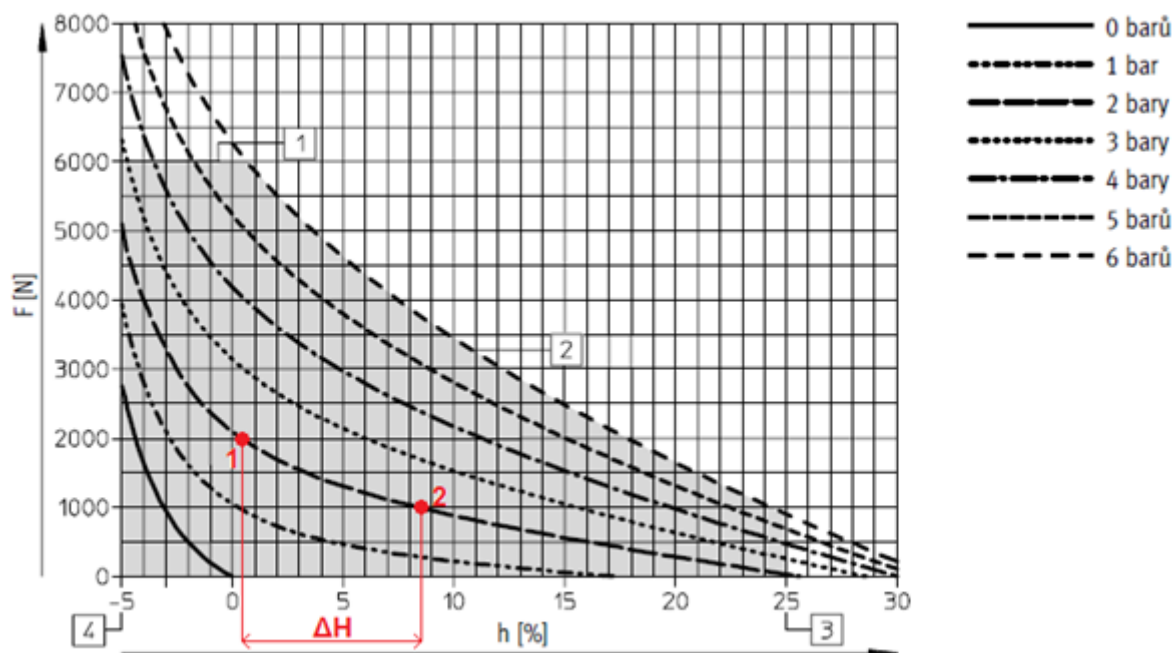
provozní tlak – $p = 2 \text{ bar}$

2. krok – určení vhodného průměru svalu v závislosti na potřebné síle

$F_E = 2000 \text{ N} \rightarrow$ nejvýhodnější je použít sval o průměru 40 mm – DMSP-40-400N...

3. krok – zanesení bodů 1 [$F_E = 2000 \text{ N}$, $p = 2 \text{ bar}$] a 2 [$F_Z = 1000 \text{ N}$, $p = 2 \text{ bar}$] do diagramu

Síla(F)-Zdvih(H) svalu DMSP-40-400N-... a odečtení kontrakce ΔH mezi body 1 a 2 \rightarrow 8,1 % zdvihu



Obr. 27: Diagram fluidního svalu DMSP-40-400N-...[2]

4. krok – výpočet jmenovité délky

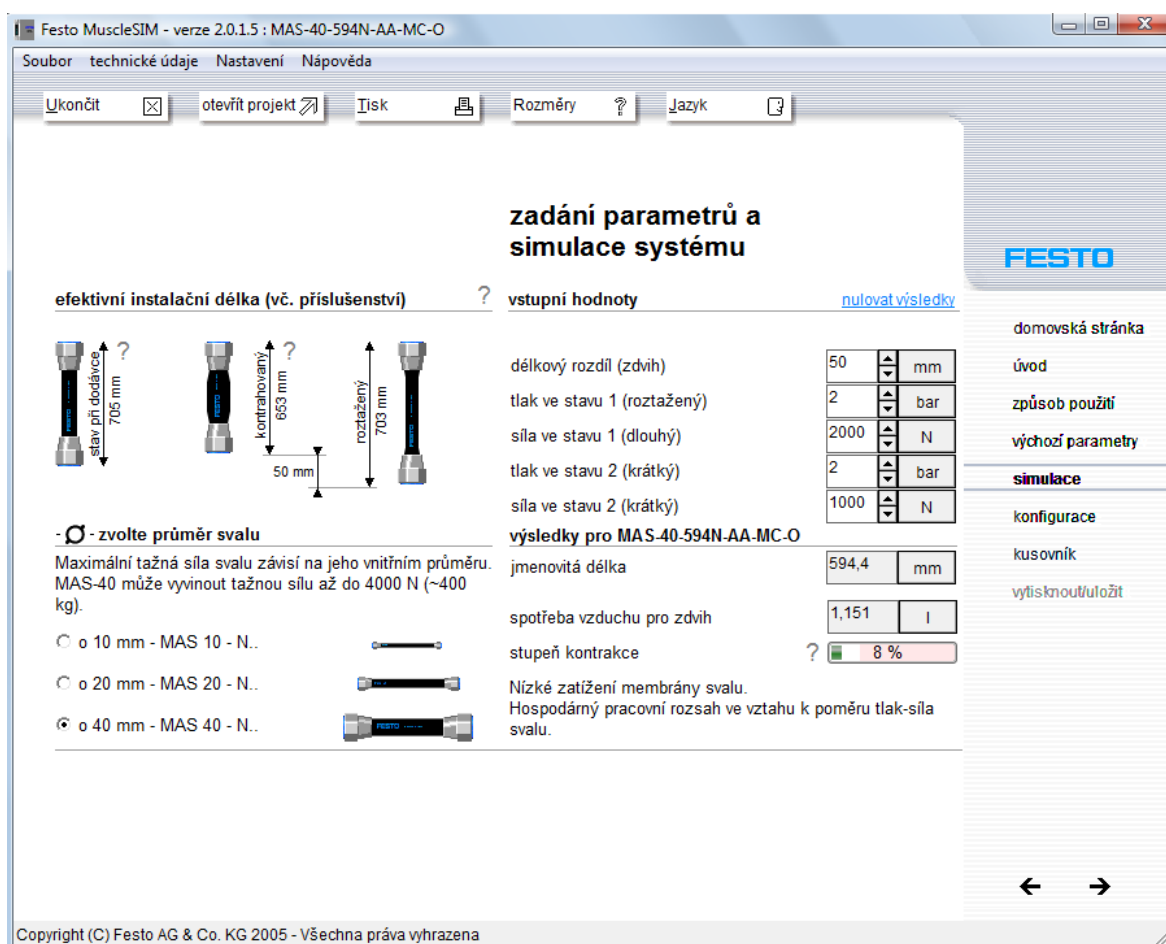
jmenovitá délka – $L = H / \Delta H[\%] = 50 / 0,081 = 617,28 \text{ mm}$

5. krok – objednávka svalu DMSP-40-620N-...

Jako tažnou pružinu se silou 2000 N a zdvihem 50 mm je nutné použít sval DMSP-40-620N-...

4.2.2 Návrh pomocí programu FESTO MuscleSIM 2.0.1.5

Postup je obdobný, jako když fluidní sval funguje jako jednočinný pohon. Pouze k dispozici na stránkách firmy FESTO. Po nainstalování a spuštění nás postupem provede navigační lišta vpravo.



- Obr. 28: Zadání parametrů a simulace systému v programu FESTO MuscleSIM 2.0.1.5
- V Úvodu označíme položku „základní funkce programu“.
 - Ve Způsobu použití zvolíme „ovladač(dva stavy)“.
 - Ve výchozích parametrech v našem případě označíme „n – jmenovitá délka po dodání“.
 - V simulaci zadáme vstupní hodnoty(délkový rozdíl, tlak a sílu ve stavu 1, tlak a sílu ve stavu 2) a zvolíme průměr svalu. Program spočítá jmenovitou délku(v našem případě 594,4 mm), spotřebu vzduchu a stupeň kontrakce(8%).
 - V konfiguraci si můžeme zvolit typy adaptérů a příslušenství.

4.3 Návrh s ohledem na životnost

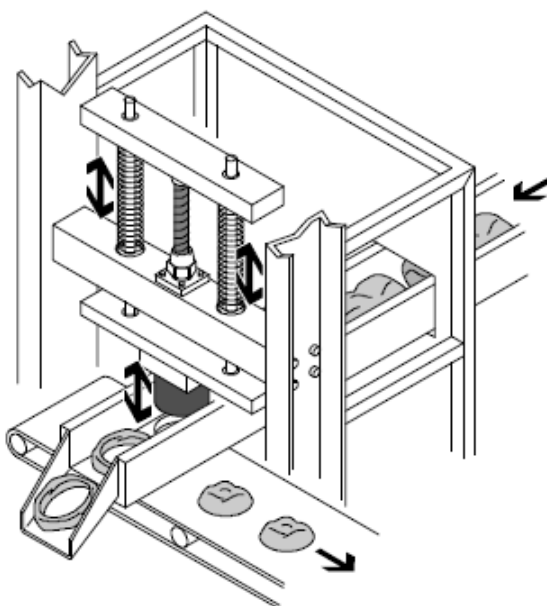
Životnost fluidního svalu se u typických aplikací pohybuje mezi 100 000 a 10 milióny spínacích cyklů. Životnost se dá zvýšit například díky snížení relativní kontrakce (např. použití delšího svalu). [2] Doporučuje se také snížit tlak, což lze provést tak, že pneumatický sval je při nižší relativní kontrakci silnější. Také toto opatření dále zlepšuje životnost.

5. Příklady použití fluidních svalů FESTO

5.1 Síla a dynamika

V případě, že je nutné dosáhnout vysokých sil a rychlostí.

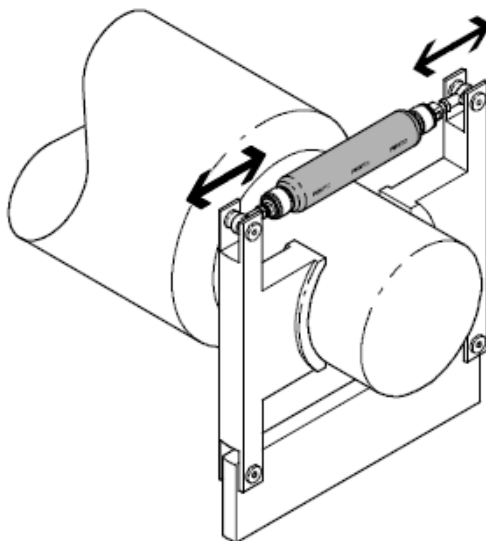
5.1.1 Pohon vysekávačky



Obr. 29: Pohon vysekávačky[2]

Se svalem lze dosahovat velmi krátkých pracovních časů. Jedním důvodem je jeho nízká hmotnost. Druhým důvodem je to, že nemá pohyblivé části, například píst. Jednoduchá konstrukce - sval napnutý dvěma pružinami nahrazuje komplikovanější systém koleno-pákového mechanismu s válcem. Tak je možné zvýšení frekvence ze 3 na 5 Hz a dosáhnout přes 10 milionů pohybů.

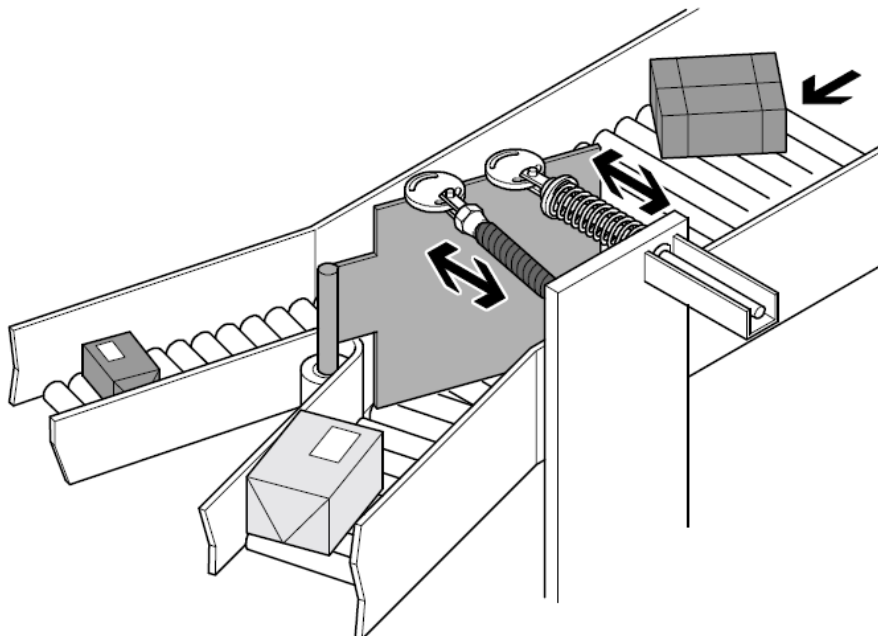
5.1.2 Zařízení nouzového zastavení pro válcování



Obr. 30: Zařízení nouzového zastavení pro válcování[2]

V úlohách, které vyžadují rychlé reakce, stanoví fluidní sval nová měřítka. U zařízení nouzového zastavení[2] pro válcování se kromě rychlosti požaduje také síla. Tím lze zamezit dlouhodobým prostojům stroje v případech poruchy.

5.1.3 Pohon výhybky

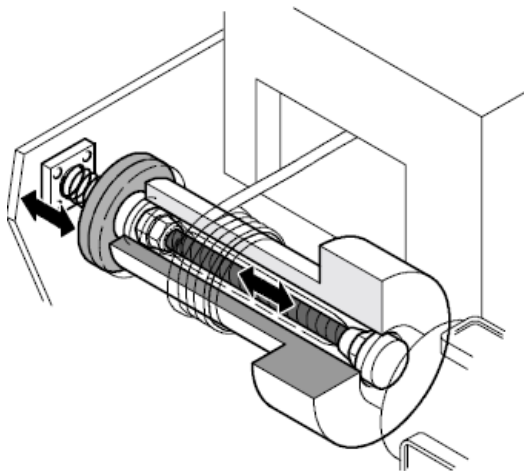


Obr. 31: Pohon výhybky[2]

Fluidní sval je ideální pohon pro třídění a zastavovací funkce v dopravníkových procesech. Sval nabízí vysoké rychlosti a také velké zrychlení. Díky krátkým reakčním časům lze výrazně zvýšit takt stroje.

5.2 Pohyby bez efektu stick-slip

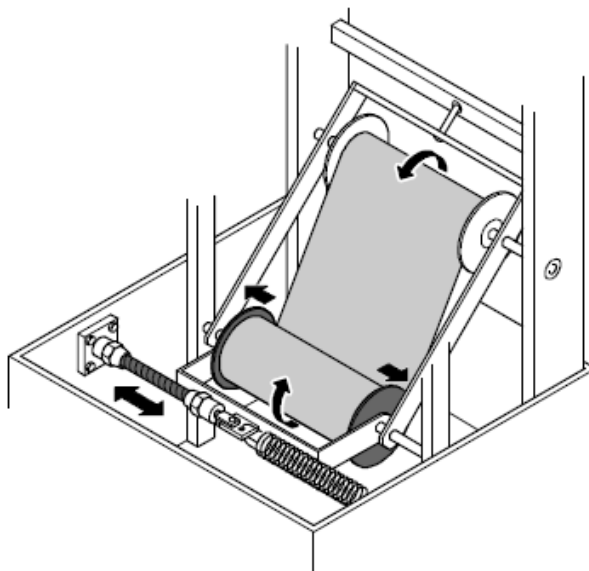
5.2.1 Brzdící mechanismus pro odvíjecí zařízení



Obr. 32: Brzdící mechanismus pro odvíjecí zařízení[2]

Sval, který nemá tření, dokáže zajistit rovnoměrné a plynulé brzdění odvíjecího bubnu[2]. Tak lze při konstantní rychlosti dosahovat velmi přesného odvíjení. Ovládá se proporcionálním ventilem, jehož signály jsou řízeny čidly síly.

5.2.2 Řízení okrajů pásu při navíjení

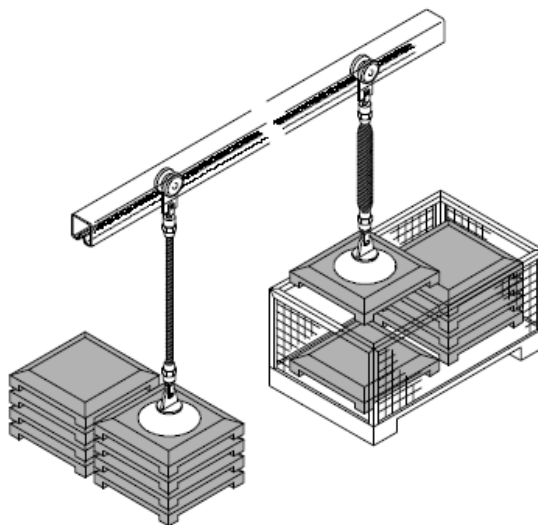


Obr. 33: Řízení okrajů pásu při navíjení[2]

Rovnoměrné navíjení papíru, fólie nebo textilie. Požadavek: pohon bez tření s rychlou a bezprostřední reakcí. Řešení: sval. Buben instalovaný na pohyblivém rámu se vychyluje fluidním svalem, vždy když čidlo zaznamená chybnou polohou. Hrana štůčku je pak vždy stoprocentně přesná.

5.3 Jednoduché polohovací systémy

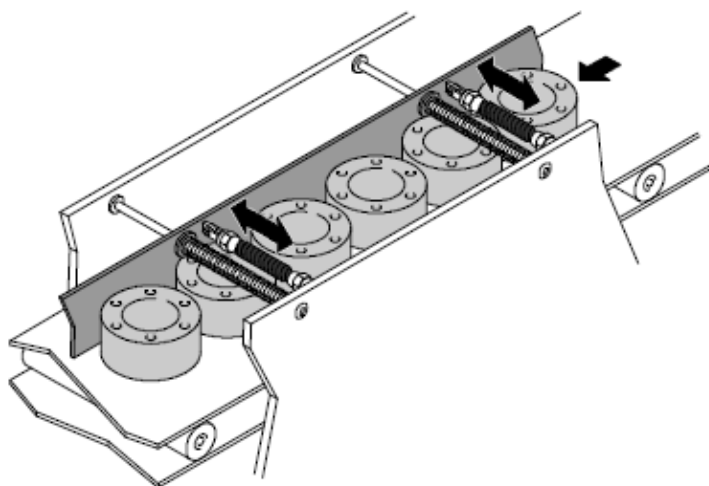
5.3.1 Zvedání při manipulaci s betonovými dlaždicemi a ráfky nákladních vozů



Obr. 34: Zvedání při manipulaci s betonovými dlaždicemi a ráfky nákladních vozů[2]

Fluidní sval je vhodné použít, když chcete realizovat hrubou mezipolohu, s regulací tlaku je to velmi snadné: Natlakováním nebo odvětráním svalu pomocí ventilu s ruční pákou můžete podle přání zvedat nebo pokládat obrobky. Sval může mít délku až 9 m, takže možnosti jeho uplatnění jsou pravdu široké.

5.3.2 Nastavení šířky na dopravních pásech

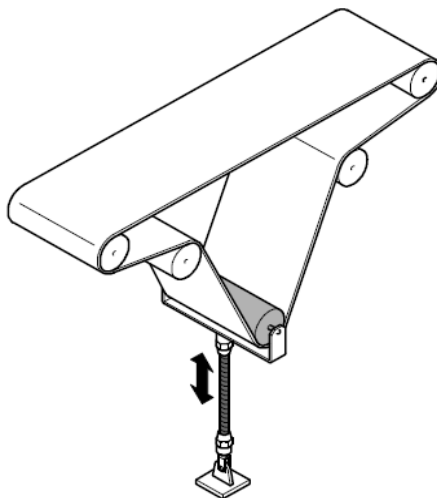


Obr. 35: Nastavení šířky na dopravních pásech[2]

U malých výrobních sérií často bývá nutné po krátké době nastavit celé výrobní zařízení a jiné rozměry výrobků. Pokud stačí hrubé nastavení, lze tuto úlohu snadno řešit fluidním svaem.

5.4 Provoz v náročném prostředí

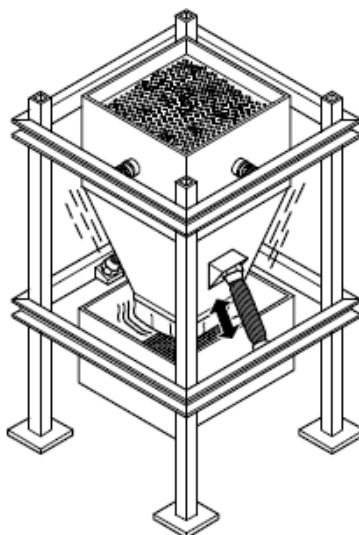
5.4.1 Napínák dopravního pásu



Obr. 36: Napínák dopravního pásu[2]

V prašném nebo znečištěném prostředí je hermeticky uzavřený fluidní sval jasně ve výhodě oproti běžným pohonům. Nemá žádné těsnění, které by se opotřebilo. Konstrukci tvoří pouze robustní hadice, kterou lze snadno použít i v cementářském průmyslu. Příklad je uveden na Obr. 36. Lze ho použít i v prostředí s rizikem výbuchu.

5.4.2 Pohon jako budič kmitů



Obr. 37: Budič kmitů[2]

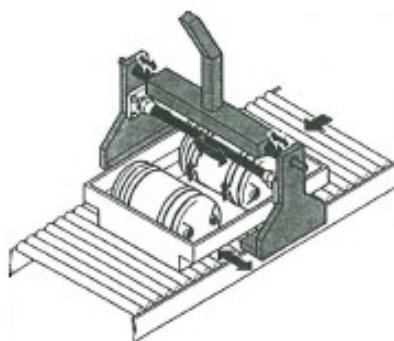
V různých zásobnících nebo silech vznikají při přívodu materiálu stálé problémy se vznikem bariér, kdy se může zpracovávaný materiál zaseknout. Pomocí svalu lze regulovat pneumatické klepadlo plynule v rozsahu frekvence 10 až 90 Hz. Tím je zaručen plynulý průběh dopravy.

5.5 Použití pneumatických svalů pro různé konstrukce chapadel

Uchopení a manipulace jsou základní kroky v automatizaci a robotizaci výroby. V zájmu zajištění správného a bezpečného uchopení objektu a jeho držení, je nezbytné ovládat dopravu kinematického a pneumatického chapadla. Pneumatické svaly se s ohledem na svoje statické a dynamické vlastnosti používají jako hnací prvek chapadel.

5.5.1 Chapadlo palet

Pružné pohony s pneumatickými svaly jsou malé hmotnosti, různé délky a velké akční síly, proto mají použití u chapadel velkých rozměrů pro vnější uchopení. Způsob vnějšího uchopení je znázorněn na příkladě chapadla na palety (obr. 38) [8].

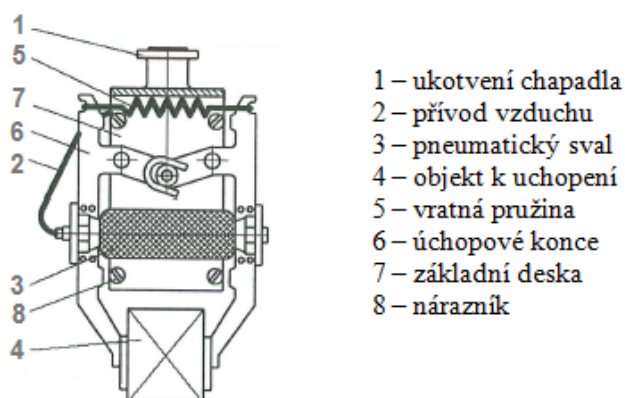


Obr. 38: Vnější chapadlo palet[8]

Kontrakce pneumatického svalu způsobí rovnoběžné upnutí palety koncovými chapadly, zatímco rozevření koncových chapadel zajišťuje působení pružin[8].

5.5.2 Úhlové chapadlo

U těchto chapadel můžeme za pomoci dorazů určit rozsah pohybu úchopových konců. Existuje mnoho řešení konstrukcí úhlových chapadel, například na obr. 39.

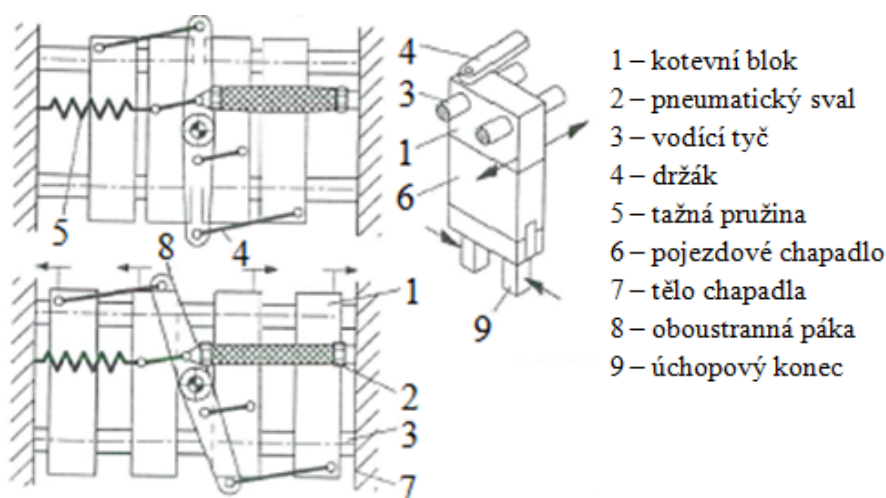


Obr. 39: Úhlové chapadlo[8]

Toto chapadlo je charakteristické jednoduchým řešením konstrukce. Pro synchronizaci pohybu úchopových chapadel se používá mechanické spojení pomocí táhla. Z konstrukčních důvodů je délka svalu chapadla značně omezena, což se projeví omezením úhlu natočení a rozsahu pohybu úchopových konců[8].

5.5.3 Vícenásobné chapadlo

Na obr. 40 je zobrazen princip činnosti vícenásobného chapadla, se kterým je možné uchopit čtyři objekty. Vzdálenost mezi jednotlivými chapadly se může měnit. Chapadlo nabízí celou řadu aplikací, např.: v cihelně může sloužit pro současné uchopení více cihel. V případě jednorozměrných cihel jsou vzdálenosti mezi jednotlivými chapadly stejné.



Obr. 40: Vícenásobné chapadlo[8]

Protože uchopené bloky se přesouvají dovnitř, je možné uchopit cihly uložené blízko u sebe. U tohoto typu chapadel se pohon provádí pomocí pneumatického svalu, protože je vyžadován krátký zdvih a velká síla uchopení. Místo vratné pružiny je možné použít druhý pneumatický sval[8].

5.6 Využití fluidních svalů konkrétními firmami

Uvedené tři aplikace naznačují, že spektrum možných použití je opravdu široké.

5.6.1 Dlouhodobý test zatížení židlí

Firma Vitra se sídlem ve Weil am Rhein využívá fluidní svaly v zařízení pro dlouhodobé zkoušení kancelářských židlí. Použity jsou svaly o průměru 40 mm a jmenovité délce 935 mm. Realizují se zdvihy od 100 do 200 mm, přičemž svaly pracují se silami mezi 300 a 450 N. Dosud vykonaly svaly více než 3 miliony cyklů bez závad.

Myšlenka využití svalů jako akčního tahového členu simuluje u kancelářských židlí zatížení při skutečném použití. Síla se převádí za pomoci kladky na opěru zad.

Rozhodujícím faktorem pro použití svalů jsou velké síly a štíhlá forma svalu a výrazně nižší náklady oproti použití klasického vzduchového válce. Fluidní svaly lépe vypadají a celkově se zlepšil i design zařízení v předváděcí místnosti Vitry.[3]

5.6.2 Řezací zařízení pro registrační lisy

Ve Schlierbachu používá firma Karl Widmann Schweissmaschinen sval s průměrem 20 mm a jmenovitou délkou 140 mm jako pohon vystřihovacího stroje. Sval dosahuje při realizovaném zdvihu 8 mm čas taktu mezi 45 ms a 15 ms při pracovním zdvihu a 45 ms při zpětném zdvihu při síle 700 N.

Zvláštností zařízení je konstrukce zpětného zdvihu za použití spirálových pružin. Teprve využitím svalů se podařilo zvýšit výkon stroje ze 180 na 250 listů za minutu při nezměněné spolehlivosti. Vysoká dynamika pomáhá dosáhnout lepších výsledků.[3]

5.6.3 Ohýbání profilů rámu dveří

Celkem 40 svalů pracuje jako zdroj tahu u firmy Wagon Automativ ve Waldschaffu v ohýbacím přípravku při výrobě automobilových dveřních rámu. Jmenovitá délka svalů činí 888 mm, při pracovním zdvihu 200 mm. Každý sval vyvine sílu asi 1000 N. Pro jednu ohýbací operaci potřebuje zařízení zhruba 20 s.

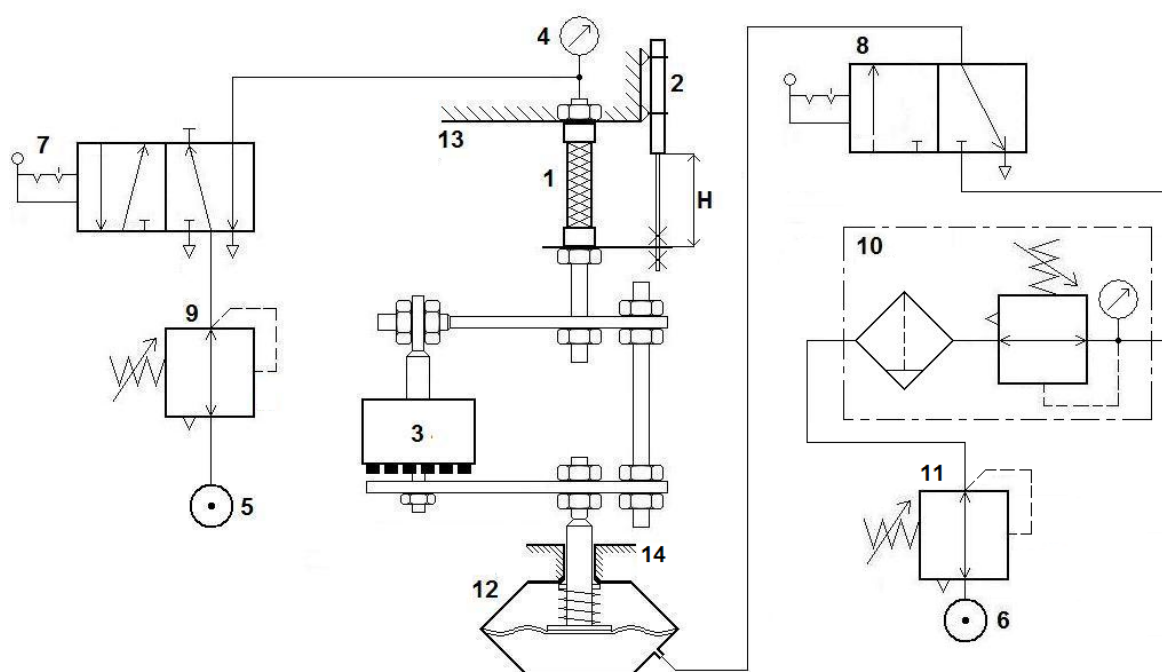
V ohýbacím zařízení jsou dva otočné talíře, které se otáčejí synchronně kolem otočného bodu. Horní a spodní díl ohýbací formy je uchycen ke spodnímu otočnému talíři. Profily jsou vtahovány do formy jednak otočným pohybem, jednak také vlastní ohýbací operací. Pro tyto požadavky je zapotřebí pohon, který vyvine velké tahové síly, realizuje plynulé pohyby bez stick-slip efektu a má pružný tvar. Ve srovnání s řešením pomocí řetězových pohonů se servomotorem, zajistí použití svalu výrazně hospodárnější výsledky[3].

6. Měření fluidního svalu DMSP-10-120N-AM-CM

6.1 Cíl měření

Úkolem měření je změřit závislost zdvihu na síle při různých tlacích. V souladu s prvkovým vybavením laboratoře sestavit experimentální obvod pro měření daného prvku. Porovnat naměřené hodnoty s diagramy, které uvádí výrobce a zhodnotit průběh měření.

6.2 Schéma zapojení



Obr. 41: Schéma zapojení

6.3 Popis prvků

- 1 – Fluidní sval DMSP-10-120N-AM-CM
- 2 – Snímač dráhy MEGATRON RC13-100-M (propojen s PC)
- 3 – Snímač síly OMEGADYNE LCM203-2kN (propojen s PC)
- 4 – Snímač tlaku SMC ISE40-01-62L
- 5,6 – Zdroj stlačeného vzduchu z tichých kompresorů SMC
- 7 – Rozvaděč 5/2 FESTO-11914 SV-5-M5-B
- 8 – Rozvaděč 3/2 SMC EVM13
- 9 – Redukčním ventil s pojistnou funkcí (SMC, na tichém kompresoru)
- 10 – Filtr s redukčním ventilem (REXROTH, rozsah regulace 0,5 až 8 bar, typ 535 021 023 0 1 ks) a manometrem (FESTO, měřicí rozsah 0 - 10 bar)
- 11 – Redukční ventil s pojistnou funkcí (SMC, na tichém kompresoru)
- 12 – Membránový pneumotor REXROTH (typ: 102, vnitřní průměr 113mm)
- 13,14 – Nosná konstrukce

6.4 Postup měření

Za pomoci vedoucího a konzultanta bakalářské práce jsem sestavil obvod dle schéma(obr. 41). Přivedl jsem do obvodu vzduch. Přepnul jsem rozvaděč 5/2(7) do otevřené polohy a na redukčním ventilu(9) jsem nastavil tlak ve svalu na 7 bar. Tlak ve svalu jsem kontroloval na snímači tlaku(4). Smrštění svalu brání pružina v membránovém kompresoru, která je se svaem propojena mechanicky. Předpětí pružiny jsem po každém měření zvyšoval šroubováním matice směrem nahoru, to způsobilo natažení(záporný zdvih) svalů i při vyšších tlacích. Účinek pružiny jsem kompenzoval otevřením rozvaděče 3/2(8) a úplným otevřením redukčních ventilů(10,11). Redukční ventil na tichém kompresoru SMC(11) zůstane otevřený po celou dobu měření. Otevření ventilů způsobilo vysunutí pístu membránového kompresoru do horní polohy. V tuto chvíli dosahoval fluidní sval(1) nejvyššího zdvihu. Nechal jsem jej ustálit a změřil jsem zdvih při nulové síle. Opatrně jsem začal snižovat tlak na redukčním ventilu(10), což způsobilo klesání pístu, natahování svalů a částečné působení pružiny na sval(1). Při každém snížení tlaku jsem změřil další bod. Snižoval jsem tlak v redukčním ventilu, dokud nepoklesl tlak v membránovém pneumotoru(12) na 0bar. V tuto chvíli už na sval působila pouze pružina. Po ustálení jsem zaznamenal poslední bod při tlaku 7 bar. Stejný postup jsem opakoval pro 0 až 6 bar.

6.5 Naměřené hodnoty

Při tlaku 0 bar:

F [N]	625	495	400	338	275	190	130	49	30	12	0
H [%]	-2,75	-2,23	-1,88	-1,36	-1,05	-0,55	-0,35	-0,2	-0,15	-0,05	-0,03
H [mm]	-3,3	-2,676	-2,256	-1,632	-1,26	-0,66	-0,42	-0,24	-0,18	-0,06	-0,036

Při tlaku 1 bar:

F [N]	515	465	395	345	285	233	205	154	115	80	45	0
H [%]	-2,22	-1,93	-1,54	-1,15	-0,78	-0,37	-0,12	0,41	0,86	1,18	1,52	1,77
H [mm]	-2,664	-2,316	-1,848	-1,38	-0,936	-0,444	-0,144	0,492	1,032	1,416	1,824	2,124

Při tlaku 2 bar:

F [N]	600	492	480	412	345	295	240	185	128	105	75	40	10	0
H [%]	-1,65	-1,02	-0,82	-0,33	0,23	0,76	1,42	2,3	3,12	3,84	4,59	5,29	6,1	6,52
H [mm]	-1,98	-1,224	-0,984	-0,396	0,276	0,912	1,704	2,76	3,744	4,608	5,508	6,348	7,32	7,824

Při tlaku 3 bar:

F [N]	630	442	356	213	122	76	45	38	9	0
H [%]	-1,12	0,2	1,11	2,55	4,75	6,55	7,83	9,21	10,29	11,12
H [mm]	-1,344	0,24	1,332	3,06	5,7	7,86	9,396	11,052	12,348	13,344

Při tlaku 4 bar:

F [N]	644	480	475	323	282	161	114	45	8	0
H [%]	-0,35	0,99	1,42	2,8	4,5	7,27	9,15	12,03	14,35	15,2
H [mm]	-0,42	1,188	1,704	3,36	5,4	8,724	10,98	14,436	17,22	18,24

Při tlaku 5 bar:

F [N]	580	490	445	400	370	320	248	196	150	116	86	53	31	12	0
H [%]	0,22	1,5	2,29	3,22	4,26	5,78	8,37	10,58	12,82	14,26	15,86	17,12	17,78	18,39	18,52
H [mm]	0,264	1,8	2,748	3,864	5,112	6,936	10,044	12,696	15,384	17,112	19,032	20,544	21,336	22,068	22,224

Při tlaku 6 bar:

F [N]	545	505	378	335	290	253	160	77	23	0
H [%]	2,9	3,54	6,6	7,65	8,55	10,42	13,37	16,28	18,95	19,14
H [mm]	3,48	4,248	7,92	9,18	10,26	12,504	16,044	19,536	22,74	22,968

Při tlaku 7 bar:

F [N]	610	553	510	440	380	324	270	218	173	119	81	32	0
H [%]	1,88	3,09	4,29	6,36	8,35	10,22	11,78	14,19	16,08	18,09	19,55	20,6	20,86
H [mm]	2,256	3,708	5,148	7,632	10,02	12,264	14,136	17,028	19,296	21,708	23,46	24,72	25,032

6.6 Grafy:

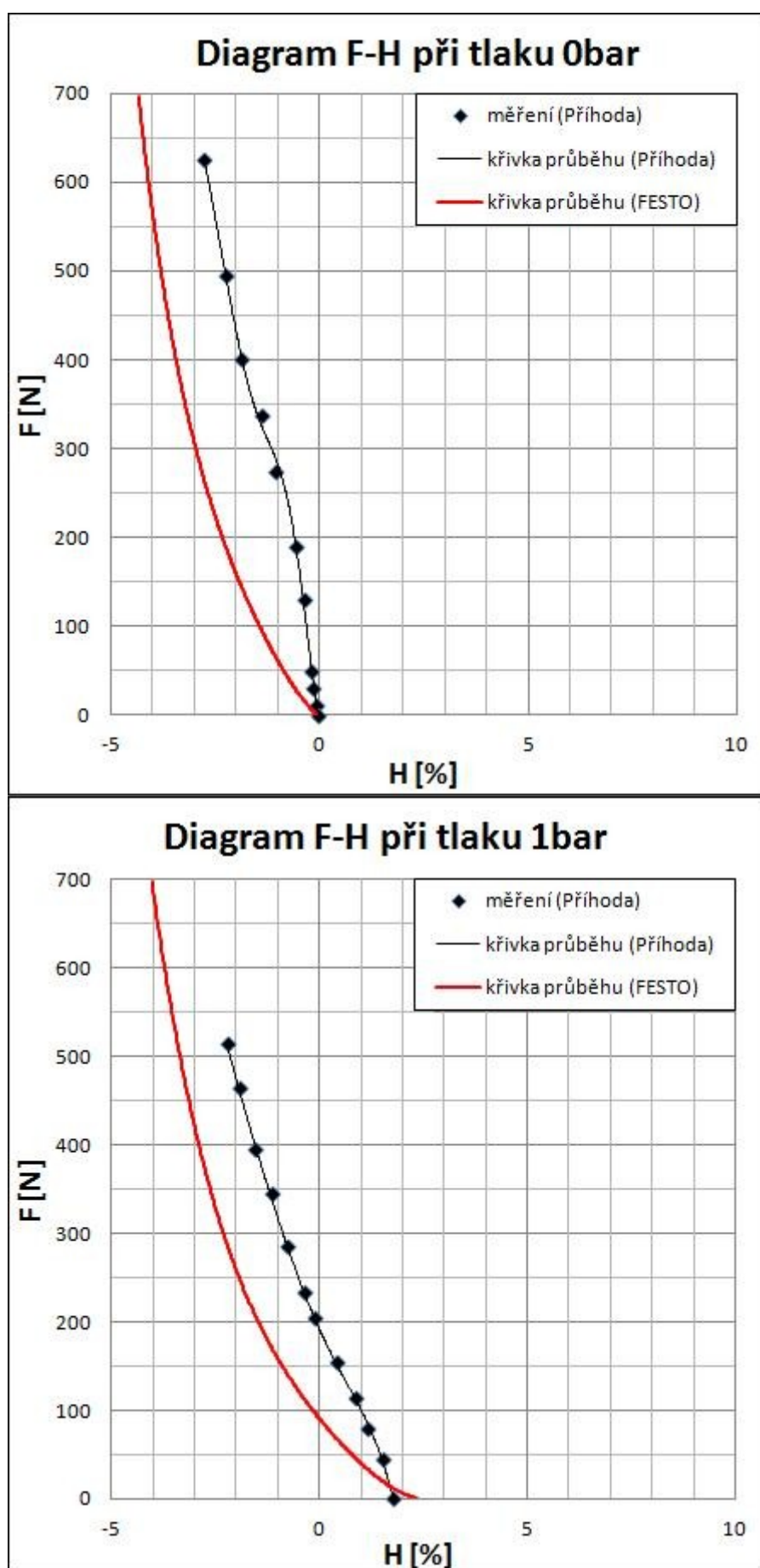


Diagram F-H při tlaku 2bar

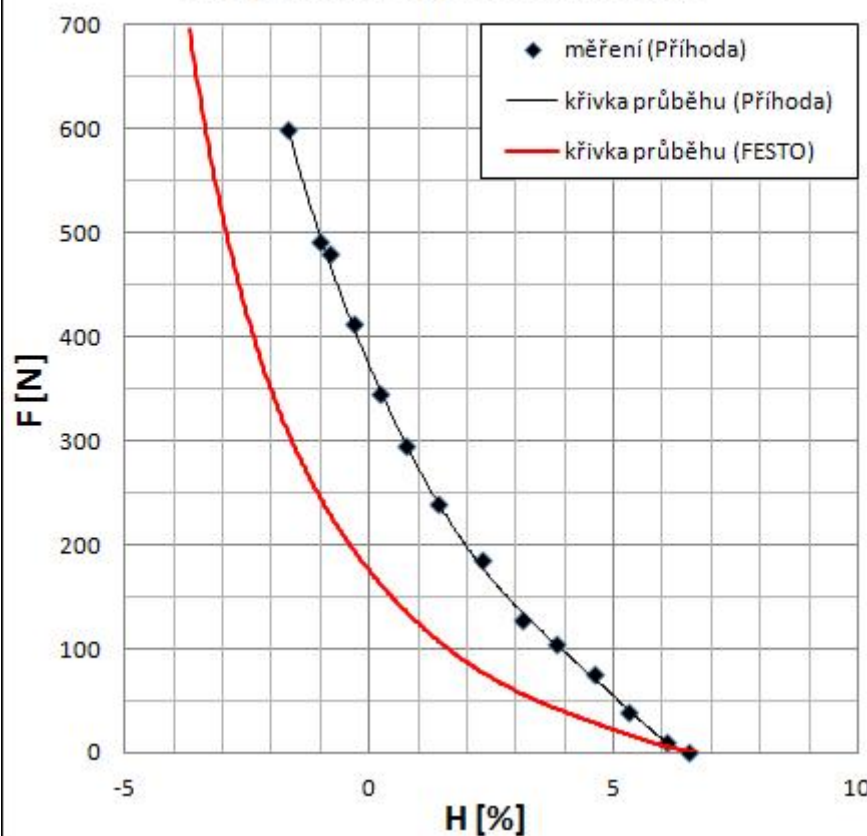
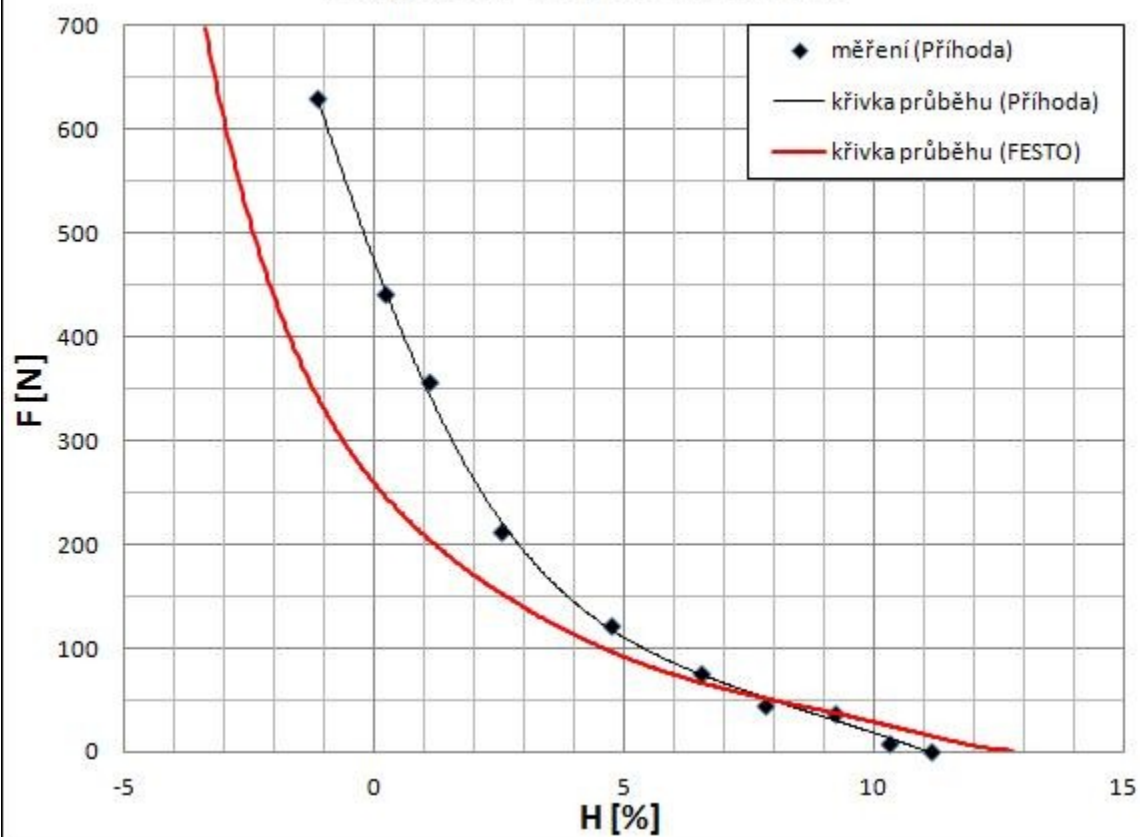
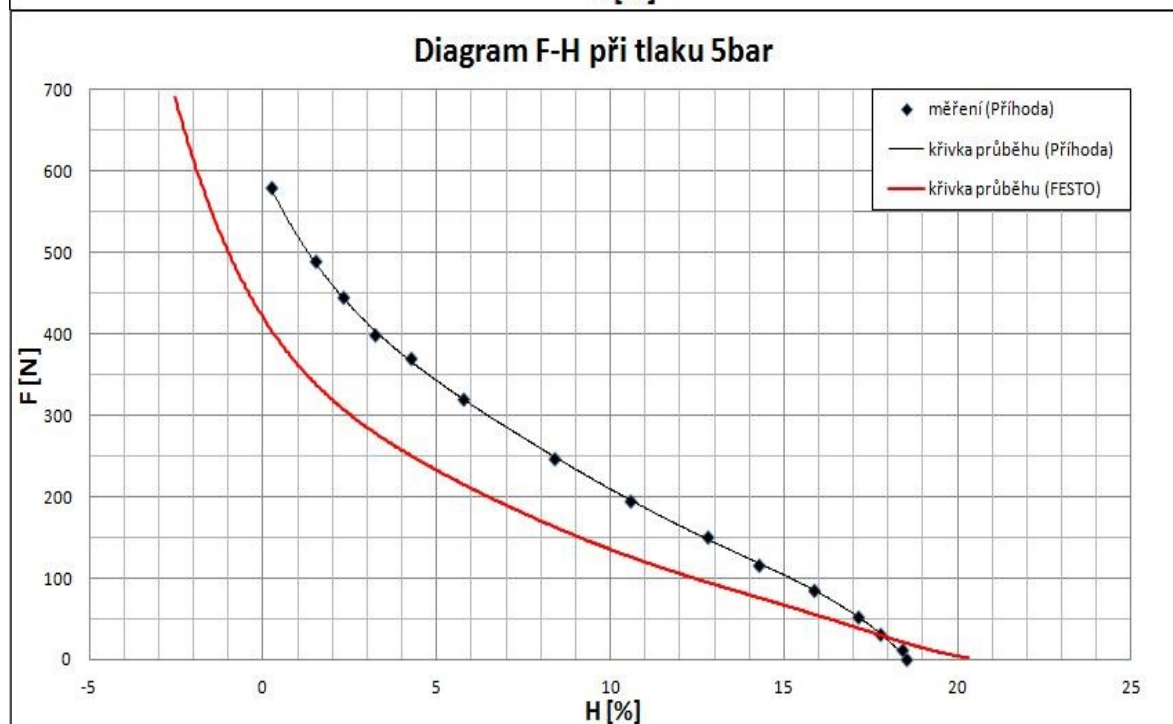
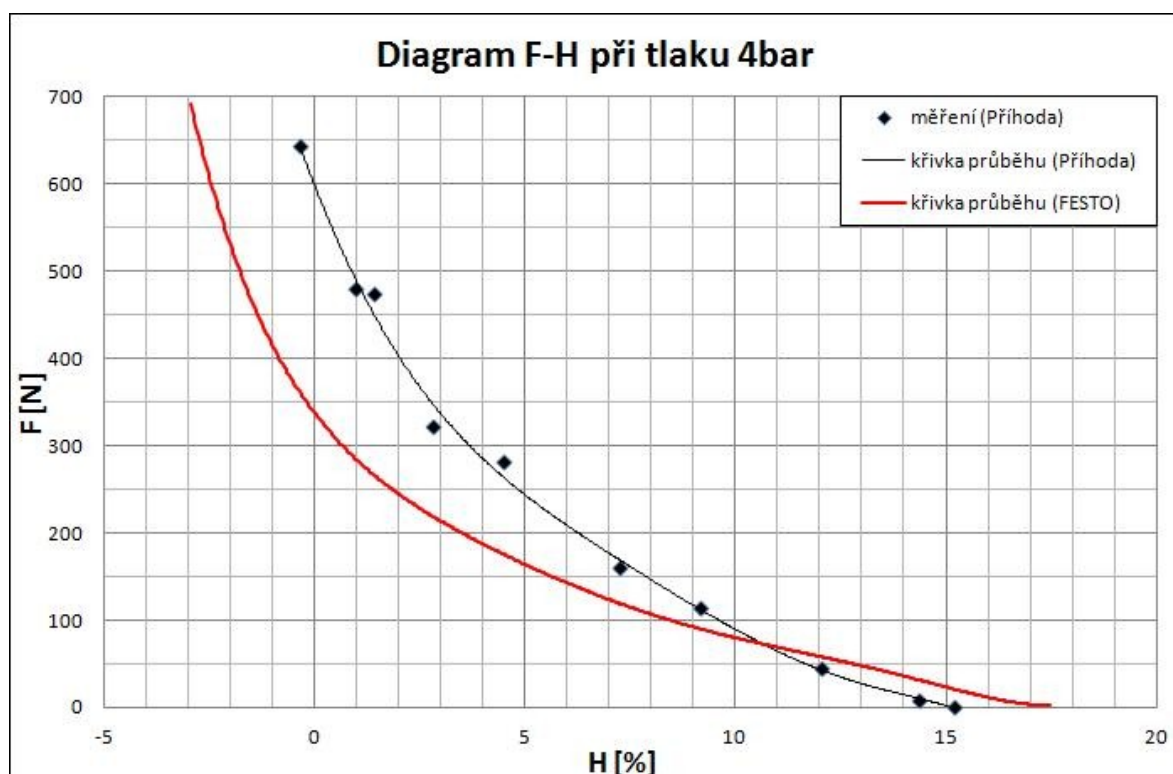
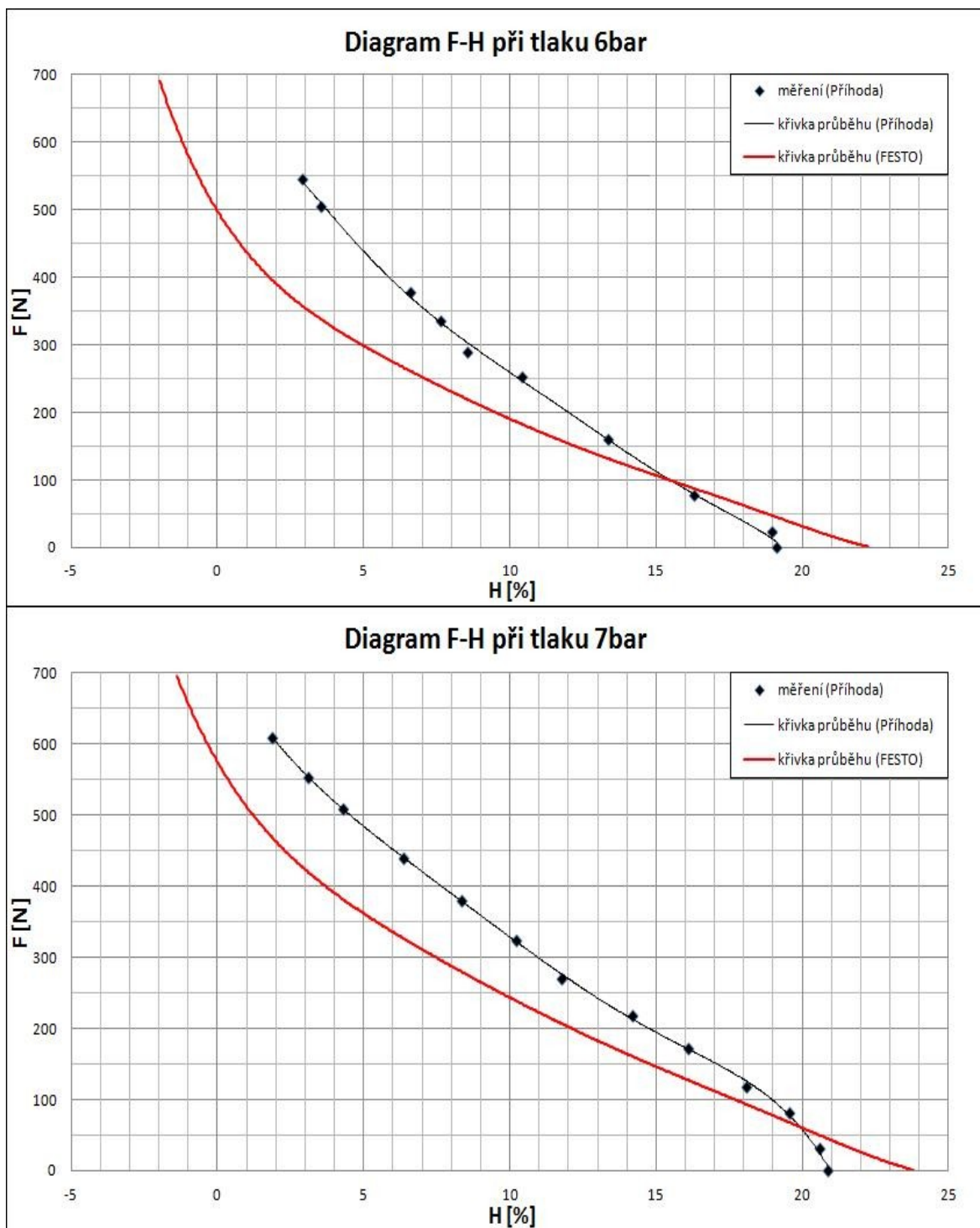


Diagram F-H při tlaku 3bar







Průběh měření byl zaznamenáván do počítače, naměřené hodnoty jsem vynesl do grafu a porovnal s křivkou, kterou uvádí výrobce.

6.7 Závěr měření:

Změřil jsem celkem 8 průběhů závislosti síly na zdvihu. Všechny změřené křivky dosahují po většinu průběhu výrazně větší síly, než uvádí výrobce. To je způsobeno i tím, že výrobce uvádí diagram Síla(F)-Zdvih(H) pro sval o normalizované délce 100 mm a při

měření byl použit sval o délce $L = 120$ mm. Naopak uváděnému zdvihu jsem se přiblížit nedokázal. To může být způsobeno teplotou, ve které sval pracoval. Při teplotách okolo 50°C je chloroprenový „plášť“ tvárnější a sval se dokáže více smrštít. Kdežto měření probíhalo při teplotě 20°C . Určitou chybu také způsobilo přestavení matice, které jsem mezi měřeními prováděl, abych zvýšil předpětí pružiny a dosáhl tak co největšího natažení svalu. Nepatrnou chybou disponuje i snímač dráhy vzhledem k tomu, že byl osově celkem vzdálený a čidlo reagovalo na pohyb plechového úhelníku, který nebyl příliš tuhý. Kvůli tomu nebyl změřený zdvih zcela přesný. Chybu do výsledku měření vnáší také pákový převod, který není uložen jako ideální kloubová páka.

7. Závěr

V úvodních kapitolách 1. a 2. bylo rozebráno, čím se práce zabývá. Kapitoly 1. a 2. stručně popisují historii pneumatických svalů. Informují o zásadních pokrocích v konstrukci pneumatických svalů a popisují jejich princip činnosti.

Dále byly v práci popsány dvě konstrukční provedení fluidních svalů firmy FESTO. Je zde uveden typ DMSP – s nalisovanými spoji a typ MAS – se šroubovanými spoji. Pro oba jsou podrobně rozebrány jejich technické údaje a typové značení. Dále jsou u obou popsány varianty jejich připojení, upevnění a adaptéry.

Následně práce obsahuje postup při navrhování vhodné velikosti svalu. Sval může pracovat dvěma způsoby. Jako jednočinný pohon, který zvedá konstantní zátěž a při změně vnější síly jako pneumatická pružina.

V práci jsou uvedeny příklady použití fluidních svalů. Důvody, proč je možností použití celá řada, jsou: poměrně velká síla, vysoká rychlost, pohyb bez efektu stick – slip, jednoduché dosažení hrubé mezipolohy, schopnost práce i v náročných a nebezpečných podmínkách. Dále jsou zde uvedeny některé konstrukce chapadel, která používají pneumatické svaly.

Dále bylo provedeno měření fluidního svalu DMSP-10-120N-AM-CM, které mělo za úkol změřit závislost zdvihu na síle při tlacích 0 až 7 bar. Výrobce uvádí průběh i při tlaku 8 bar. Takového tlaku jsem při měření nedosáhl. Oproti křivkám, které uvádí v katalogu výrobce, dosahují křivky měřeného fluidního svalu výrazně vyšších sil a nižších zdvihů po většinu průběhu. V závěru měření je zdůvodnění, proč se změřené křivky liší od křivek, které uvádí firma FESTO.

Literatura

- [1] FESTO. *Fluidní sval* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: www.festo.com/cms/cs_cz/11186.htm
- [2] FESTO. *Katalog DMSP/MAS* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: www.festo.com/cat/cs_cz/data/doc_cs/PDF/CZ/MAS_CZ.PDF
- [3] Wwww.mmspektrum.com. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nakratko-nebo-nadlouho.html>
- [4] Kopáček, J.; Žáček, M. (2003): *Pneumatická zařízení strojů*. Skriptum Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 94 s. ISBN 80-248-0442-5
- [5] KOPEČNÝ, L. McKibbenův pneumatický sval - modelování a použití v hmatovém rozhraní. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 114 s.
- [6] FESTO AG & Co. Esslingen: Neu. Fluidic Muscle MAS. Info 501. 22 s.
- [7] Chou, C. P.; Hannaford, B. (1996): *Measurement and modeling of McKibben Pneumatic Artificial Muscles*. IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 12, no. 1, pp. 90–102.
- [8] DINDORF, R. Chwyty z muskulami pneumatycznymi. Pneumatyka, 2005, no. 6, s. 16-19. ISSN 1426-6644.
- [9] Chou, C. P. – Hannaford, B. (1994): *Static and Dynamic Characteristic of McKibben Pneumatic Artificial Muscles*. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation, vol. 1, pages 281–286. "
- [10] Tondu, B. – Lopez, P. (2000): *Modelling and Control of McKibben Artificial Muscle Robot Actuators*. In: IEEE Control Systems Magazine, pages 15–38.
- [11] KOPÁČEK, J. *Technická diagnostika hydraulických mechanismů*. Praha: SNTL, 1990. 159 s. ISBN 80-03-00308-3.
- [12] Wwww.powerdrives.com. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.powerdrives.com/industrial-distribution/festo.aspx>
- [13] FESTO. [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: http://www.festo.com/cms/en-gb_gb/14611_14711.htm